
**Recursos para Desenvolvimento Tecnológico - RDT,
Capítulo XX do Edital 03, Lote 07, item 10 do PER
Rodovias BR 116/376 PR e BR 101
Trecho Curitiba - Florianópolis**

**PROJETO 04
SGP/ALS_04 REV.00**

**RISCOS GEOLÓGICO-GEOTÉCNICOS EM TALUDES RODOVIÁRIOS:
DESENVOLVIMENTO DE UMA METODOLOGIA DE MAPEAMENTO E
GERENCIAMENTO DIGITAL DE INFORMAÇÕES PARA A BR-376, TRECHO DA
SERRA DO MAR (PR-SC) - FASE 2**

SUMÁRIO

1.	CONCESSIONÁRIA	2
2.	DESCRIÇÃO DO PROJETO	2
2.1.	TÍTULO DO PROJETO	2
2.2.	OBJETIVO	2
2.2.1.	Objetivo Geral	2
2.2.2.	Objetivos Específicos	2
3.	JUSTIFICATIVA	3
4.	DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	6
4.1.	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADAS	6
5.	RELATÓRIO FINAL	9
5.1.	VISITAS AO SÍTIO DE ESTUDO	9
5.1.1.	Visitas BR-376/PR	9
5.1.2.	Visitas BR-101/SC	11
5.2.	PROCESSAMENTO E ANÁLISE DOS DADOS	14
5.2.1.	Monitoramento BR-376/PR	14
5.2.2.	Monitoramento BR-101/SC	31
5.3.	ANÁLISE CRÍTICA INTEGRADA	58
5.3.1.	Monitoramento BR-376/PR	58
5.3.2.	Monitoramento BR-101/SC	92
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	124
6.1.	MONITORAMENTO BR-376/PR	124
6.2.	MONITORAMENTO BR-101/SC	125
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	128

1. CONCESSIONÁRIA

Autopista Litoral Sul

2. DESCRIÇÃO DO PROJETO

2.1. Título do projeto

Riscos geológico-geotécnicos em taludes rodoviários: desenvolvimento de uma metodologia de mapeamento e gerenciamento digital de informações para a BR-376, trecho da Serra do Mar (PR-SC) - FASE 2

2.2. Objetivo

2.2.1. Objetivo Geral

O objetivo geral consistiu em ampliar a série histórica de monitoramento da instrumentação instalada na etapa inicial das pesquisas desenvolvidas no trecho da Serra do Mar da BR-376 e no Morro do Boi (BR-101/SC), buscando-se aperfeiçoar critérios para a gestão da segurança da operação rodoviária.

2.2.2. Objetivos Específicos

Foram objetivos específicos desta pesquisa:

Validar e ampliar a série histórica de leituras dos sensores instalados no Morro do Boi (km 140+700 m da BR-101/SC) e no trecho da Serra do Mar da BR-376;

Reavaliar a segurança dos taludes rodoviários do trecho em estudo com base no aperfeiçoamento de limiares pluviométricos desenvolvidos na etapa inicial da pesquisa;

Aprofundar o entendimento do desempenho do sistema de contenção existente no Morro do Boi e da influência da vegetação no comportamento da água infiltrada no subsolo;

Aperfeiçoar as metodologias para definição de parâmetros de alerta que vem sendo desenvolvidas nas fases iniciais das pesquisas.

3. JUSTIFICATIVA

No Brasil, dentre os desafios que envolvem a operação e manutenção da malha rodoviária, destaca-se o fato de que a mesma frequentemente atravessa encostas naturais da Serra do Mar, posicionadas próximas ao litoral. Esses maciços, formados por solos de origem coluvionar e residual, possuem um comportamento diretamente afetado pela ação de agentes ambientais, tais como as precipitações pluviométricas. Podem ser citados vários casos de desastres naturais recentes (e.g. Santa Catarina - Nov/2008, Angra dos Reis - Jan/2010, Nova Friburgo - Jan/2011, Litoral do Paraná - Mar/2011, BR-376 - Mar/2011) que representaram perdas humanas, financeiras e ambientais. Em particular, no trecho sob concessão da Autopista Litoral Sul, existem duas regiões onde se registraram deslizamentos após as intensas chuvas de Nov/2008 e Mar/2011: o maciço denominado Morro do Boi, localizado na pista Sul da BR-101/SC, entre os municípios de Balneário Camboriú e Itapema, e o trecho de Serra do Mar da BR-376/PR (entre os km 661 e 671, aproximadamente).

Em março de 2011, foi iniciado um trabalho de pesquisa da concessionária, onde se buscou aumentar o nível de segurança na operação de rodovias situadas em áreas da Serra do Mar sujeitas a escorregamentos. O estudo contemplou, dentre outras etapas, a concepção e implantação de um plano de instrumentação no Morro do Boi (km 140+700 m da BR-101/SC). Foram instalados sensores para mensuração de parâmetros geotécnicos e ambientais como poropressão (positivas e negativas), deslocamentos horizontais e precipitações, além de se monitorar variações no

carregamento dos grampos e deslocamentos na tela metálica da estrutura de contenção lá implantada. O monitoramento, que teve início em 2012, tem permitido o desenvolvimento de diversos trabalhos técnico-científicos (e.g. Acevedo 2013, Kormann et al. 2013 e 2014, Pretto et al. 2013, Pretto 2014, Sestrem 2012, Sestrem&Kormann 2013).

Em uma nova pesquisa, intitulada “Riscos geológico-geotécnicos em taludes rodoviários: desenvolvimento de uma metodologia de mapeamento e gerenciamento digital de informações para a BR-376, trecho da Serra do Mar (PR-SC)”, iniciada em 2013, o trabalho de monitoramento foi intensificado, desta vez implantando-se estações pluviométricas em seis pontos da região em estudo.

O uso de sistemas de instrumentação permite monitorar ações ambientais, tais como a chuva, e mudanças no comportamento do terreno e das estruturas de contenção implantadas em um dado trecho rodoviário. Cabe ressaltar que diversos fatores podem influenciar a qualidade dos dados obtidos com um sistema de sensores, tais como erros humanos, leituras faltantes devido a problemas técnicos relacionados aos equipamentos e coleta de dados sem periodicidade. O entendimento e previsão de eventos instabilizantes possui grande complexidade, pois estes não ocorrem necessariamente devido a um único agente e com atuação direta de curto prazo, como por exemplo, precipitações intensas. Os maciços estão sujeitos também a processos de longo prazo, tais como expansões e contrações dos solos e rochas (devido a ciclos de saturação ou de variação térmica, por exemplo) e movimentos lentos em geral, como por exemplo o rastejo.

Para a interpretação e análise de dados, existem diversas ferramentas que permitem determinar parâmetros de alerta com base no histórico de leituras e características locais da instrumentação (e.g. Gutiérrez 2003, Carvalho 2005, Buzzi 2007 e 2012, Kane & Beck 2000 e Kagoda et al. 2010). É importante salientar que cada método de análise exige um determinado universo de dados e informação para sua aplicação. A instrumentação geotécnica se insere neste contexto como uma ferramenta útil para o gerenciamento de riscos em encostas naturais e taludes de corte/aterro. Em particular, nos casos de movimentos de massas de solo, permite

ainda que a situação seja gerenciada através da programação de inspeções nos períodos críticos, antecipando-se a necessidade de obras de estabilização e intervenções específicas.

Na primeira fase da pesquisa aqui proposta, foi desenvolvido um modelo para a previsão de ocorrência de movimentos de massa. Para tanto, empregou-se o conceito de limiar pluviométrico global empírico (e.g. Kanji et al., 1997), tendo-se correlacionado escorregamentos pretéritos devidamente documentados com os eventos pluviométricos correspondentes.

A construção do modelo tornou evidente a necessidade de um maior entendimento das intensidades de chuva que deflagram escorregamentos, reforçando a importância de se dispor de séries históricas de dados. Deve-se notar que no Brasil em geral, informações detalhadas sobre a distribuição espacial de movimentos de massa e das chuvas associadas são escassas, o que impõe limitações ao desenvolvimento de modelos de previsão de escorregamentos.

Os limiares pluviométricos obtidos, em conexão com a rede de pluviógrafos instalada, representaram uma importante ferramenta para a gestão da operação rodoviária no trecho da Serra do Mar da BR-376, uma vez que foram reunidos elementos que buscam antecipar a ocorrência de eventos críticos de deslizamentos. Uma das recomendações do estudo envolveu a necessidade de se ampliar as séries históricas de informações do monitoramento, com o objetivo de calibrar continuamente o modelo proposto, em função da evolução dos processos naturais e antrópicos que podem reduzir ou aumentar valores de pluviometria crítica.

Assim, no presente projeto de pesquisa, propôs-se a continuidade do monitoramento das áreas instrumentadas, tanto da BR-376/PR como o da BR-101/SC e o aprofundamento das análises das séries históricas de dados, buscando-se aperfeiçoar as metodologias para definição de parâmetros de alerta, com o objetivo de se seguir contribuindo para o aumento da segurança da operação rodoviária.

4. DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

4.1. Métodos e Técnicas Utilizadas

Propôs-se com a presente pesquisa a continuidade do projeto em epígrafe, objetivando-se ampliar a série histórica de monitoramento da instrumentação instalada nas etapas iniciais dos estudos - Fase 1. Visitas mensais para aquisição de leituras e verificação do sistema de monitoramento instalado no trecho da Serra do Mar da BR-376 e também no Morro do Boi (km 140+700 m da BR-101/SC) foram realizadas. Na BR-376, a análise dos dados obtidos permitiu reavaliar a segurança dos taludes rodoviários com base em modelos de limiares pluviométricos. No Morro do Boi, a introdução de variantes no sistema de contenção (com o estudo de procedimentos distintos de roçada da vegetação e isolando-se parcelas de contribuição dos grampos e da tela metálica) permitiu aprofundar o entendimento da relação pluviometria-vegetação-poropressão (positiva e negativa) e do desempenho da estrutura lá implantada. Em ambas as áreas objeto da pesquisa, a análise crítica dos resultados obtidos permitiu aperfeiçoar parâmetros de alerta.

O desenvolvimento da pesquisa foi baseado nas seguintes etapas:

Etapa 1 - Visitas ao sítio de estudo

Foram realizadas visitas mensais para aquisição de leituras e verificação do sistema de monitoramento instalado na etapa inicial da pesquisa intitulada “Projeto 4 - Riscos geológico-geotécnicos em taludes rodoviários: desenvolvimento de uma metodologia de mapeamento e gerenciamento integrado de informações para a BR-376, trecho da Serra do Mar (PR-SC)” e do sistema de monitoramento do km 140+700 m da BR-101/SC (Morro do Boi), desenvolvido na pesquisa intitulada “Projeto 3 - Avaliações de estabilidade e do desempenho de sistemas de proteção de taludes rodoviários em uma encosta litorânea”.

Etapa 2 - Processamento e análise dos dados

As leituras dos instrumentos foram processadas e organizadas em séries temporais, interpretando-as com base em informações referentes à estratigrafia e demais características das camadas componentes do subsolo. O processamento dos dados buscou aplicar modelos matemáticos e estatísticos, de modo que a interação entre a pluviometria, piezometria e demais parâmetros medidos nos taludes em estudo seja melhor compreendida, visando-se alimentar limiares pluviométricos e aperfeiçoar a definição de critérios de alerta. Propôs-se ainda a introdução de variantes no sistema de contenção do Morro do Boi, buscando-se isolar as parcelas de contribuição dos grampos e da tela metálica, além de se aprofundar o entendimento da real contribuição da vegetação nos níveis de sucção e segurança da encosta. Para tal, foram avaliados os efeitos que procedimentos de roçada pudessem trazer ao sistema solo-contenção, buscando identificar mudanças no comportamento da água infiltrada no terreno em horizontes não-saturados causados pela ausência de cobertura vegetal.

Etapa 3 - Análise crítica integrada

Esta etapa envolveu uma análise crítica de todos os resultados obtidos, buscando-se o aperfeiçoamento dos parâmetros de alerta definidos nas fases iniciais das pesquisas e ao longo da Etapa 2. As informações foram consolidadas de modo a se definir diretrizes e metodologias para o gerenciamento de riscos, envolvendo propostas para reavaliar o nível de segurança dos locais monitorados.

Etapa 4 - Capacitação de pessoas

Esta etapa se refere à participação no Workshop de Recursos de Desenvolvimento Tecnológico, promovido anualmente pela Agência Nacional de Transportes - ANTT.

Etapa 5 - Emissão de relatórios

Os resultados parciais obtidos em cada etapa de trabalho foram apresentados em relatórios de acompanhamento entregues de acordo com cronograma estabelecido pela ANTT. Os resultados da pesquisa foram consolidados em um relatório final que compreende o presente documento.

5. RELATÓRIO FINAL

Conforme descrito no item 4, a presente pesquisa envolveu o monitoramento e ampliação da série histórica de equipamentos instalados na etapa inicial de duas pesquisas em áreas distintas. Nos itens subsequentes serão apresentadas as atividades desenvolvidas ao longo do período compreendido pelo presente relatório nessa etapa (FASE 2). Para tal, os dados foram classificados em dois grupos:

- BR-376/PR - compreende as informações do monitoramento instalado ao longo do Projeto 4 - Riscos geológico-geotécnicos em taludes rodoviários: desenvolvimento de uma metodologia de mapeamento e gerenciamento integrado de informações para a BR-376, trecho da Serra do Mar (PR-SC).
- BR-101/SC - compreende as informações do monitoramento instalado ao longo do Projeto 3 - Avaliações de estabilidade e do desempenho de sistemas de proteção de taludes rodoviários em uma encosta litorânea.

5.1. Visitas ao sítio de estudo

5.1.1. Visitas BR-376/PR

Visitas mensais ao sítio de estudo foram realizadas ao longo do desenvolvimento da presente pesquisa. Tais atividades tiveram como objetivo a manutenção preventiva dos instrumentos instalados. Procedimentos para a verificação da parte interna dos pluviógrafos foram realizados, buscando retirar eventuais obstruções (e.g. ninhos, vespeiros e formigueiros) que poderiam resultar no travamento do sistema de medição e a substituição de baterias quando necessário (nível de carga inferior a 30%).

Dentre as ações realizadas, cabe salientar a ocorrência de alguns problemas técnicos identificados ao longo das visitas de campo. Obstruções devido ao acúmulo de detritos (e.g. folhas) e/ou presença de insetos refletiram no travamento da caçamba basculante e consequente interrupção do registro dos dados. Além disso, ações de vandalismo resultaram no furto de baterias, de uma das antenas e ainda em danos ao funil que compõe o sistema de caçamba basculante de um dos pluviógrafos. Por fim, foram identificados alguns problemas técnicos operacionais solucionados a partir de procedimentos de manutenção, tais como: falhas no funcionamento do modem interno de transmissão de dados e no *logger* de registro de dados, além de falhas no contato do fio de transmissão do funil do instrumento ao *logger*. Como consequência desses acontecimentos, alguns equipamentos tiveram suas leituras interrompidas ao longo de períodos específicos conforme pode ser observado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resumo com períodos com registro parcial de dados do sistema de monitoramento da BR-376/PR

Equipamento	Período	Motivo
P1 (km 660+570 m)	05/03/2015 a 13/04/2015	Obstrução
	20/11/2016 a 12/12/2016	Problemas técnicos
P2 (km 667+900 m)	09/02/2015 a 19/02/2015	Problemas técnicos
	27/08/2015 a 12/11/2015	Obstrução
	24/07/2016 a 23/09/2016	Problemas técnicos
	04/11/2016 a 12/12/2016	Vandalismo
P3 (km 669+300 m)	13/03/2015 a 25/03/2015	Vandalismo
P4 (km 676+800 m)	27/08/2015 a 06/10/2015	Obstrução
	01/02/2016 a 06/02/2016	Problemas técnicos
P5 (km 652+900 m)	23/08/2016 a 05/09/2016	Vandalismo
	28/02/2016 a 11/07/2016	Problemas técnicos
P6 (km 662+000 m)	03/06/2015 a 21/08/2015	Problemas técnicos
	25/08/2015 a 12/11/2015	Problemas técnicos
	10/12/2015 e 29/01/2016	Vandalismo

Contudo, ressalta-se que o sistema de monitoramento da região de Serra do Mar da BR-376 encontra-se funcionando de maneira normalizada, registrando os dados em intervalos de uma hora e transmitindo-os quatro vezes ao dia.

5.1.2. Visitas BR-101/SC

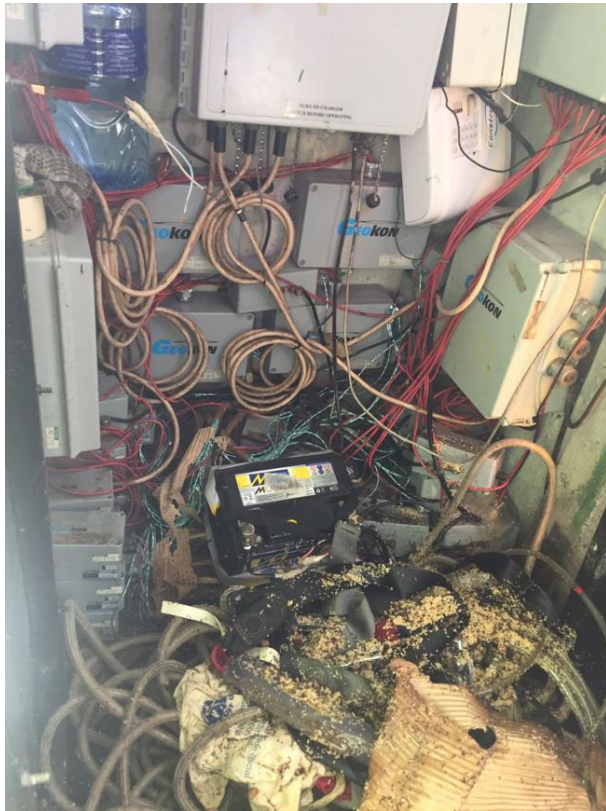
Visitas mensais para o monitoramento implantado no Morro do Boi, localizado na BR-101/SC, também foram realizadas durante o período de desenvolvimento da presente pesquisa. Assim como descrito no item 5.1.1, tais atividades tiveram como intuito tanto a aquisição dos dados das leituras (*datalogger* de leitura integrada e

pluviógrafo) como a inspeção visual da área de estudo e execução de procedimentos preventivos de manutenção.

Em particular para o sistema de monitoramento do Morro do Boi, cabe salientar a importância da realização de procedimentos de limpeza na região de instalação dos instrumentos, permitindo assim o acesso aos mesmos e evitando obstruções no pluviógrafo. Dentre os procedimentos e ações realizados ao longo do período da presente pesquisa, destacam-se: substituição da bateria que alimenta o *datalogger* integrado, revisão no sistema de segurança (alarme), dedetização da casa de leituras (Figura 1), execução de procedimentos de roçada em áreas específicas para análise da influência da vegetação nos parâmetros monitorados e isolamento das parcelas de contribuição dos grampos e da tela metálica. Assim como descrito para o monitoramento da BR-376, como consequência de problemas técnicos identificados ao longo das visitas a campo, alguns equipamentos tiveram suas leituras interrompidas ao longo de períodos específicos conforme pode ser observado na Tabela 2.

Tabela 2 - Resumo com períodos com registro parcial de dados do sistema de monitoramento do Morro do Boi

Equipamento	Período	Motivo
Pluviógrafo	05/05/2015 a 14/08/2015	Problemas técnicos
	15/12/2016 a 12/01/2017	Obstrução
Datalogger integrado	18/06/2015 a 30/07/2015	Problemas técnicos
	03/08/2015 a 14/08/2015	Problemas técnicos
	03/02/2016 a 19/02/2016	Problemas técnicos
	15/07/2016 e 29/07/2016	Problemas técnicos



(a)



(b)



(c)

Figura 1 - (a) e (b): Identificação da presença de formigas na casa de leituras e nos equipamentos de proteção individual e corda utilizados para o acesso às ilhas intermediária e inferior e (c) Procedimento de dedetização realizado

5.2. Processamento e análise dos dados

5.2.1. Monitoramento BR-376/PR

Como parte do monitoramento implantado no trecho de Serra do Mar da BR-376/PR, tem-se 6 (seis) pluviógrafos cujo registro e transmissão dos dados é feito de maneira automatizada. As leituras desses instrumentos vêm sendo obtidas regularmente de modo remoto (*online*), mediante uma programação onde se definiu a transmissão de dados em 4 (quatro) horários pré-estabelecidos (6h00, 10h00, 13h00 e 16h00). Um mapa com a localização desses instrumentos pode ser observado na Figura 2, estando essas informações detalhadas na Tabela 3. Cabe salientar que esses sensores foram instalados ao longo de diferentes altitudes/cotas do trecho de Serra do Mar, buscando assim mapear o regime pluviométrico de forma detalhada ao longo de sua extensão.

Na sequência serão apresentados os dados de instrumentação registrados desde o início de operação de cada instrumento até o dia 31/01/2017. As Figuras Figura 3 a 8 apresentam os volumes de precipitação acumulados, em 24 horas, para cada um dos instrumentos instalados. Na Figura 9 apresenta-se um comparativo da precipitação mensal acumulada ao longo de todo o período monitorado, estando os dados classificados em ordem crescente de altitude com a finalidade de expor a dinâmica pluviométrica da região.

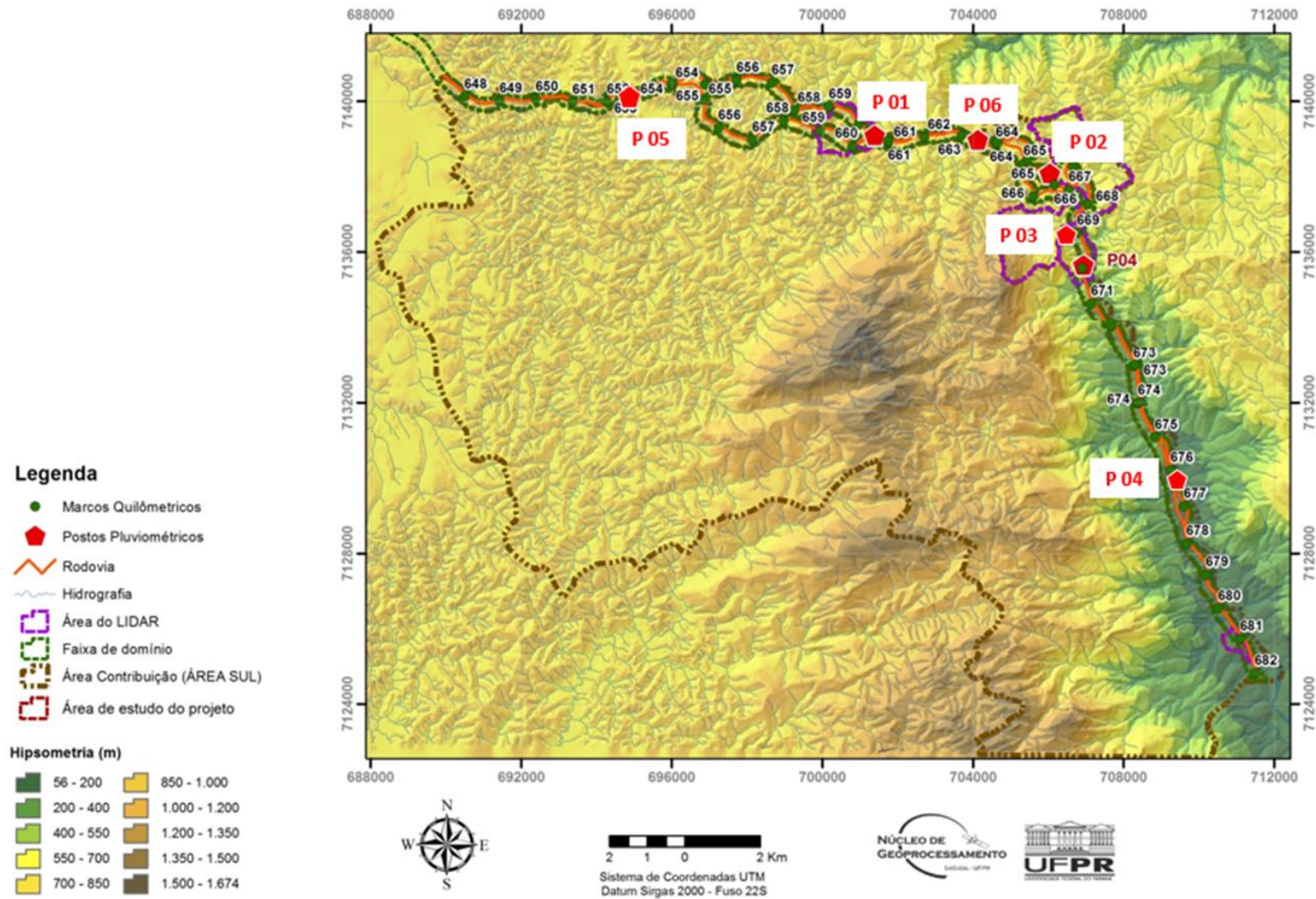


Figura 2 - Mapa de localização dos pluviômetros ao longo do trecho da rodovia BR-376/PR

Tabela 3 - Pluviógrafos instalados na BR-376: resumo das principais características

Instrumento	Identificação <i>datalogger</i>	Coordenadas		Cota (m)	km	Pista	Início da operação
P1	5G0E2968	701387 E	7139099 S	800	660+570 m	Sul - LD	12/03/2014
P2	5G0E2969	707073 E	7137405 S	544	667+900 m	Norte - LD	12/03/2014
P3	5G0E2971	706862 E	7196189 S	469	669+300 m	Sul - LD	27/02/2014
P4	5G0E2970	709353 E	7129240 S	190	676 m	Sul - LE	28/02/2014
P5	5G0D2249	695105E	7140121 S	864	652+900 m	Sul - LD	09/09/2014
P6	5G0D2250	702744E	7139033S	790	662	Sul - LD	09/09/2014

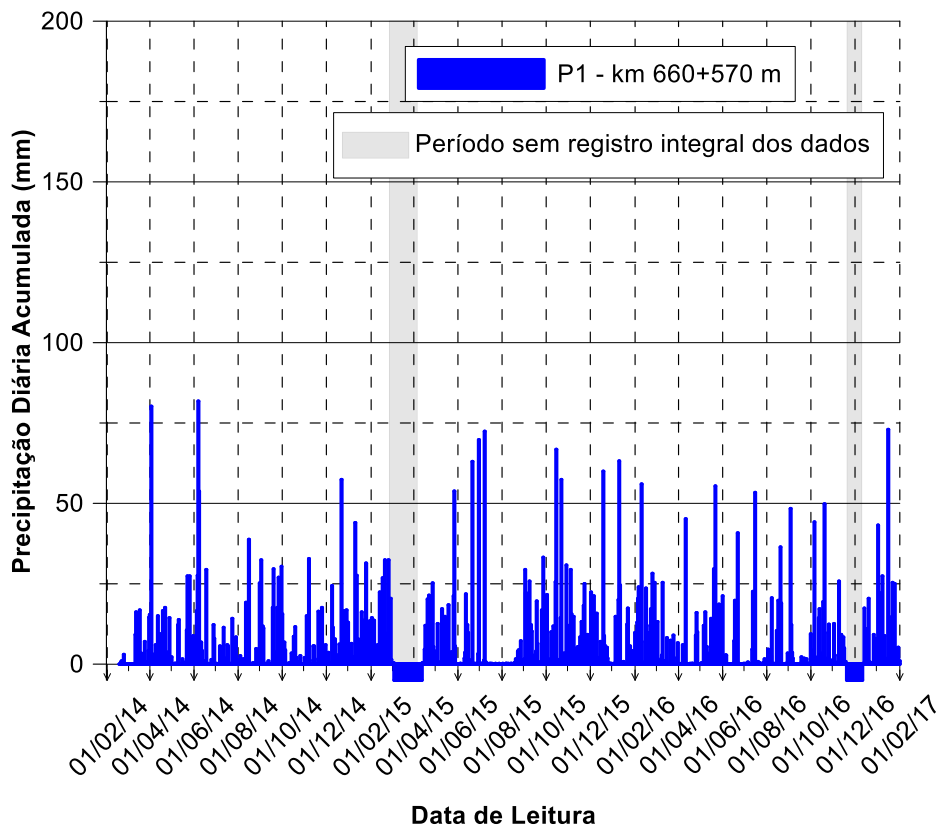


Figura 3 - Precipitação diária acumulada registrada no posto de monitoramento P1

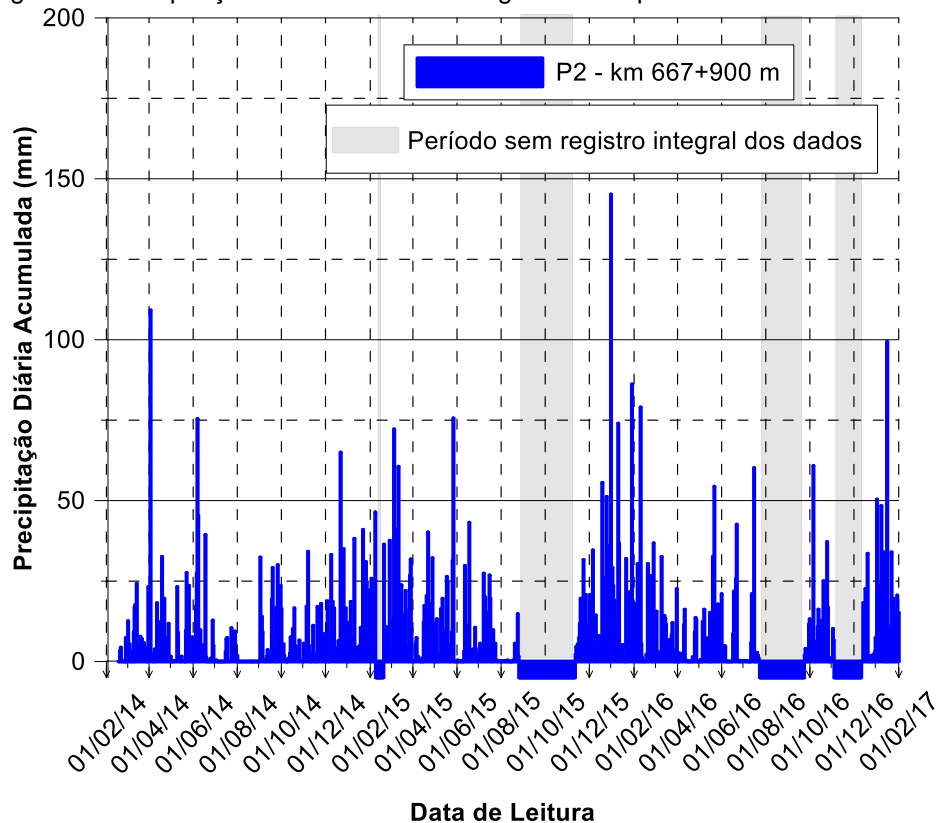


Figura 4 - Precipitação diária acumulada registrada no posto de monitoramento P2

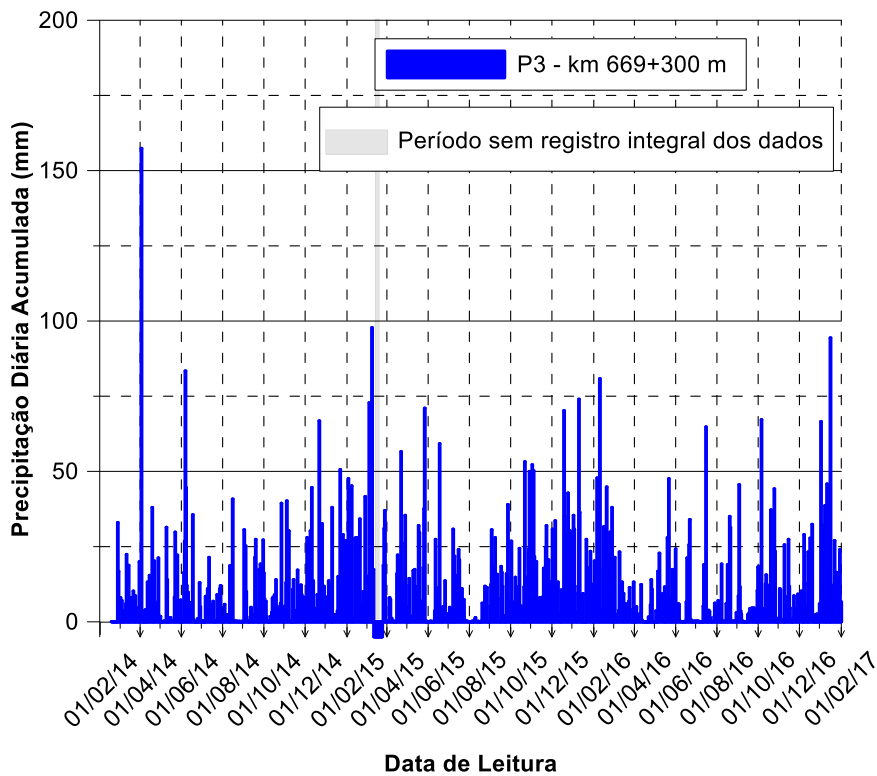


Figura 5 - Precipitação diária acumulada registrada no posto de monitoramento P3

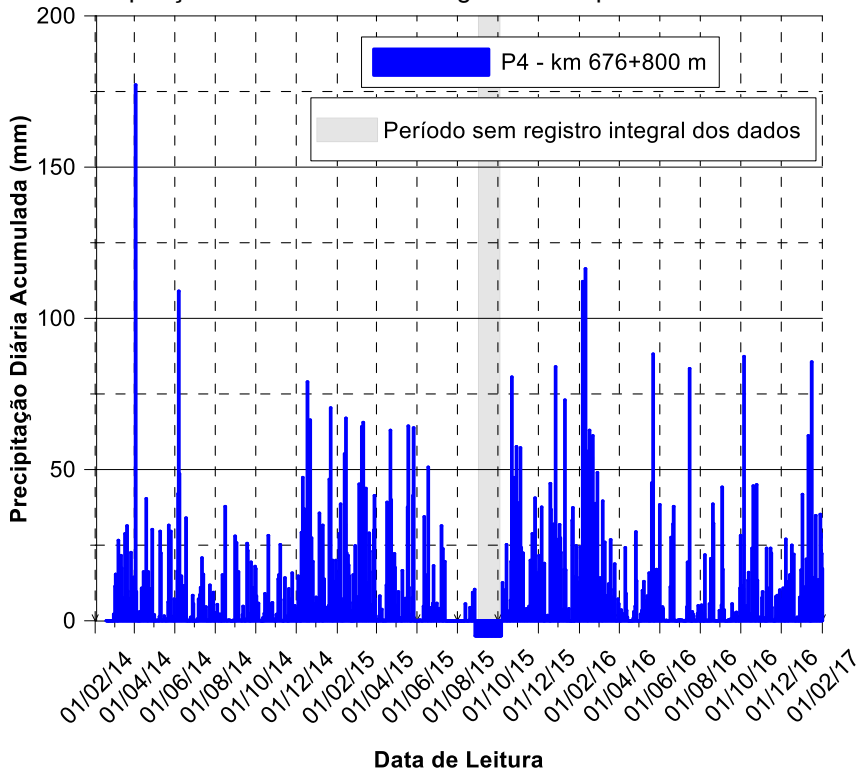


Figura 6 - Precipitação diária acumulada registrada no posto de monitoramento P4

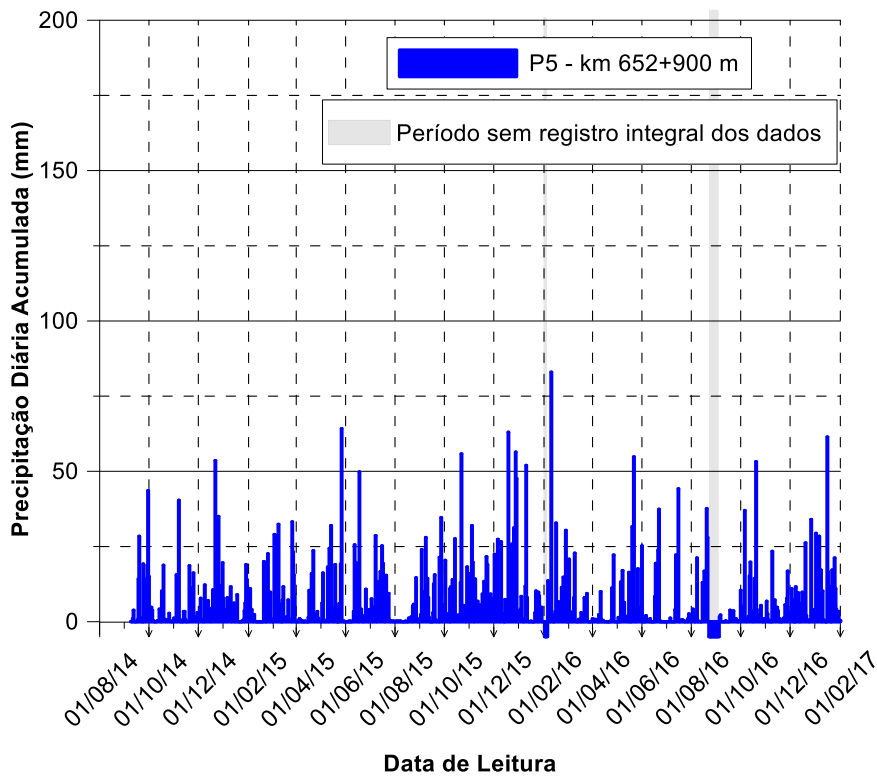


Figura 7 - Precipitação diária acumulada registrada no posto de monitoramento P5

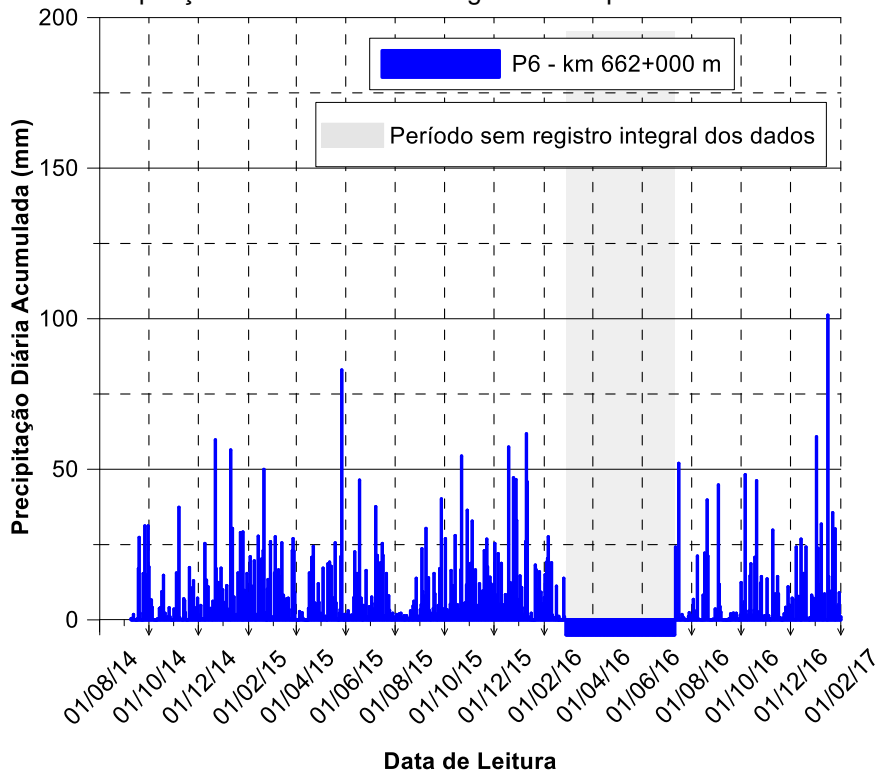
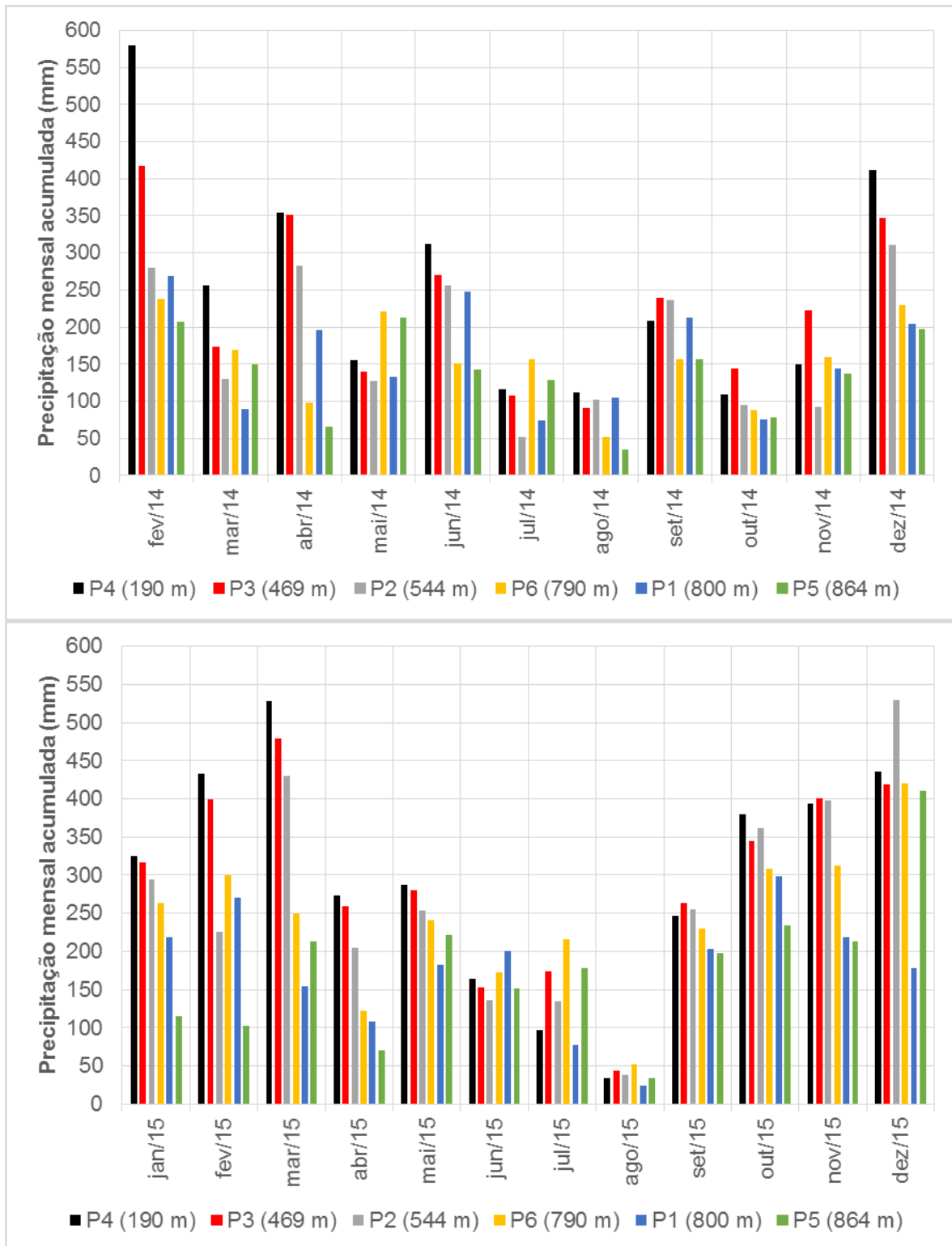


Figura 8 - Precipitação diária acumulada registrada no posto de monitoramento P6



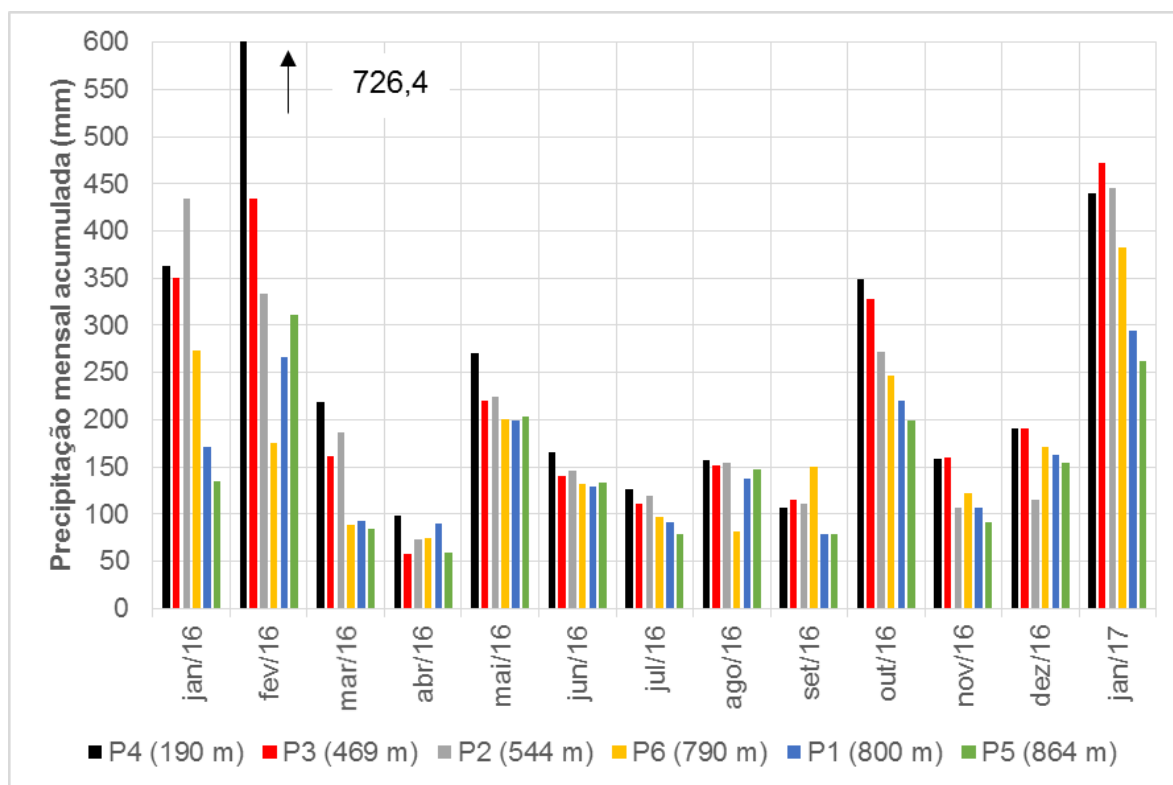


Figura 9 - Precipitação diária acumulada: comparativo pluviógrafos P1 a P6 ao longo de toda a série histórica

Com base nesses resultados é possível observar a ocorrência de uma dispersão significativa entre as leituras obtidas pelos seis instrumentos instalados. Verifica-se que o pluviógrafo P4, instalado na menor cota, registrou os maiores volumes de chuva ao longo de quase toda a série histórica disponível até o momento. Em complemento a isso, o equipamento foi o responsável pelos maiores acumulados mensais, incluindo registros de 726,4 mm e 579,5 mm em fevereiro de 2016 e 2014, respectivamente.

Com base nesses três primeiros anos de monitoramento é possível observar uma variação bastante significativa nos volumes precipitados anuais. Na Figura 10 um comparativo com a precipitação média mensal acumulada ao longo desse período é apresentado. Cabe salientar que tal análise foi baseada apenas nos meses com registro total de dados. Verifica-se que o ano de 2015 foi responsável pelos maiores volumes, sendo possível observar diferenças em torno de 50% quando comparado com o ano de 2014, por exemplo.

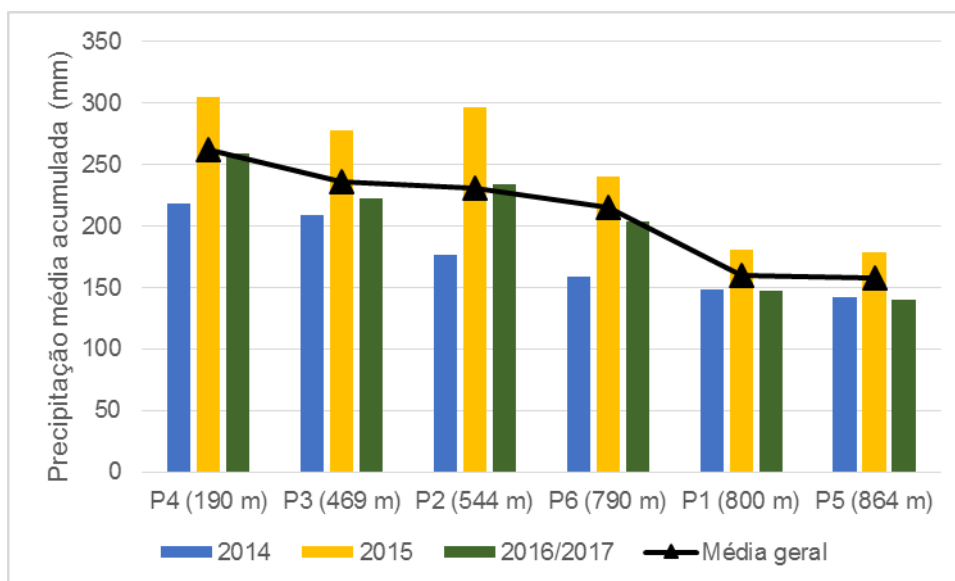


Figura 10 - Precipitação média mensal acumulada ao longo dos anos

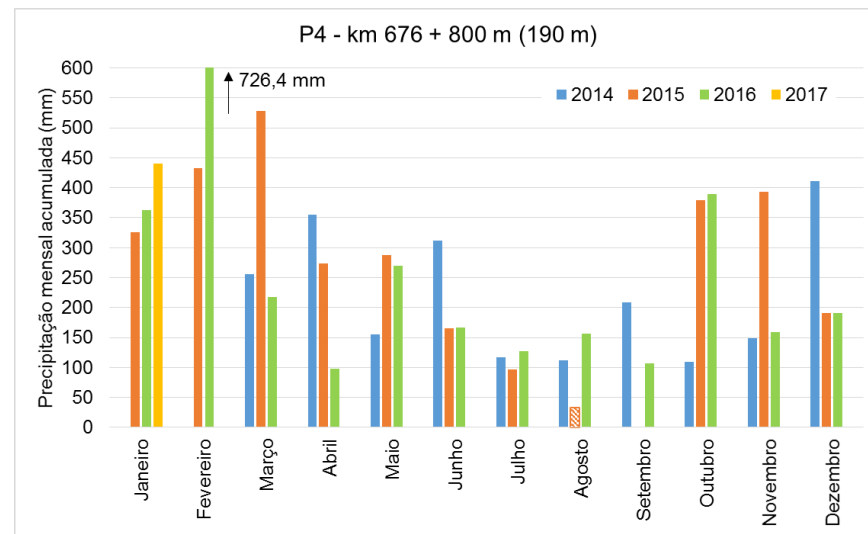
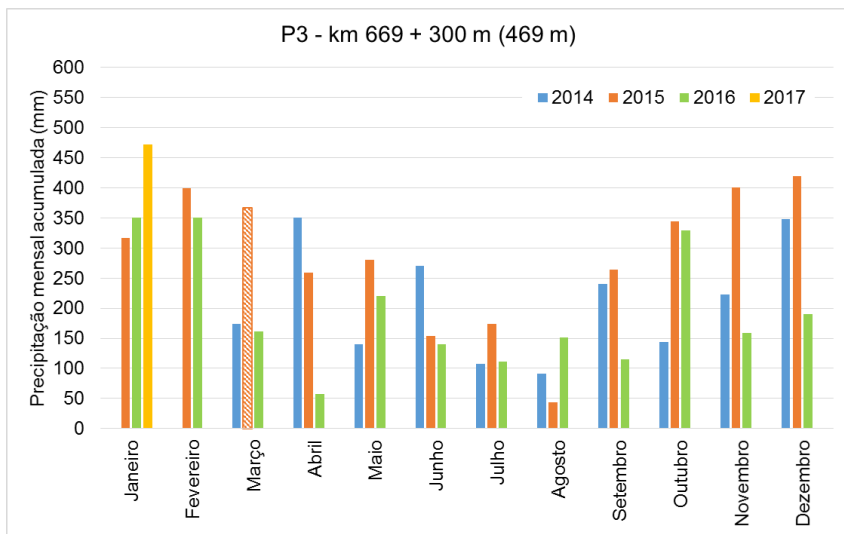
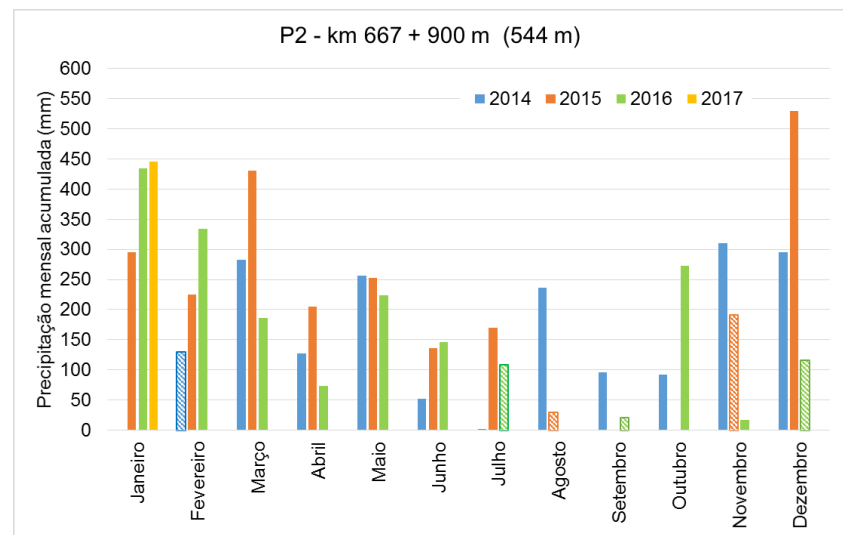
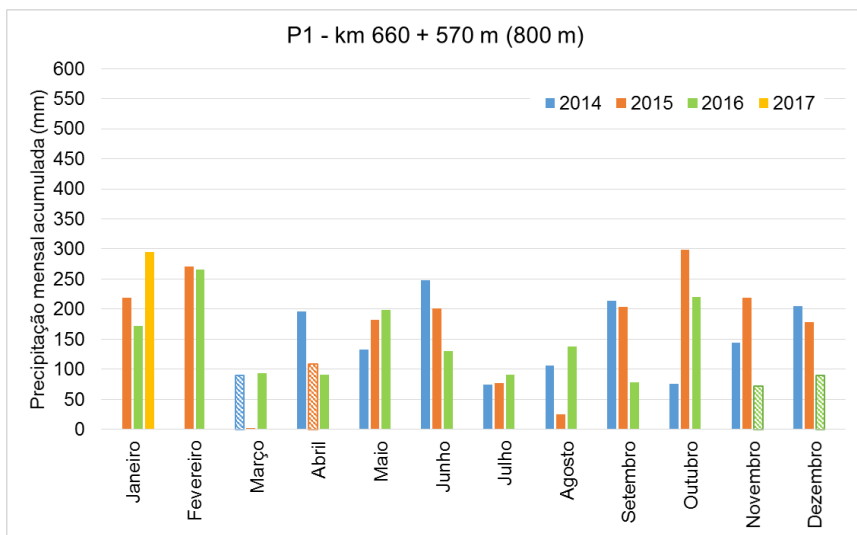
De modo geral os maiores volumes de chuva registrados concentram-se entre os meses de novembro e fevereiro, sendo de certo modo possível observar uma estação seca e outra chuvosa. Na Tabela 4 um comparativo mostrando as diferenças observadas ao longo dessas estações é apresentado. Observa-se que as maiores

variações ocorrem para os equipamentos instalados nas menores cotas, instrumentos esses responsáveis pelos maiores acumulados registrados.

Tabela 4 - Precipitação média mensal acumulada por equipamento

	P4 (190 m)	P3 (469 m)	P2 (544 m)	P6 (790 m)	P1 (800 m)	P5 (864 m)	Média
Média chuvoso	346	299	286	225	204	164	254
Média seco	184	177	171	166	140	148	164
Diferença	88%	69%	67%	35%	46%	11%	54%

No intuito de aprofundar ainda mais as análises das séries históricas, buscou-se comparar os volumes de chuvas registrados durante um mesmo período (mês) ao longo dos anos 2014, 2015 e 2016 para cada ponto onde se encontram instalados os pluviômetros (Figura 12). Tais dados foram ainda agrupados por equipamento e são apresentados na Figura 11. Com base nessas figuras, é possível identificar tendências de incremento do volume de chuvas, em sua maioria entre os meses de novembro a março, podendo-se novamente observar diferenças entre os instrumentos ao longo dos anos.



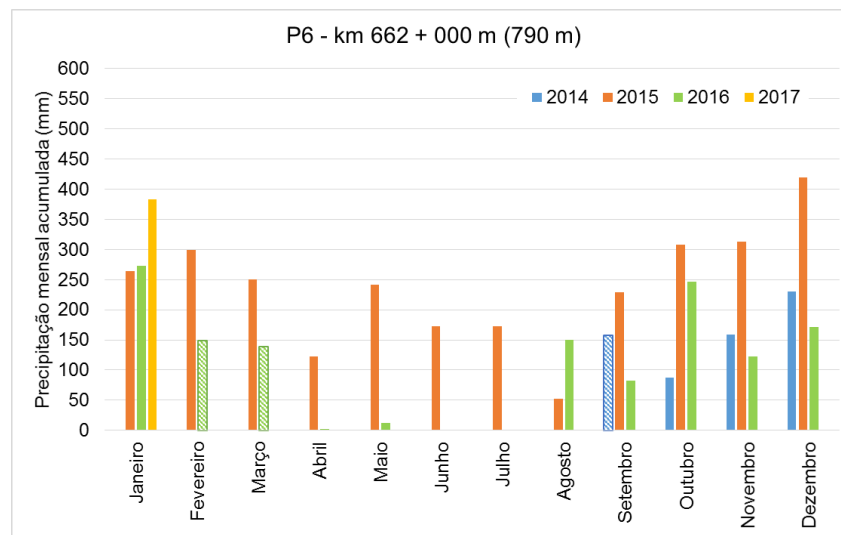
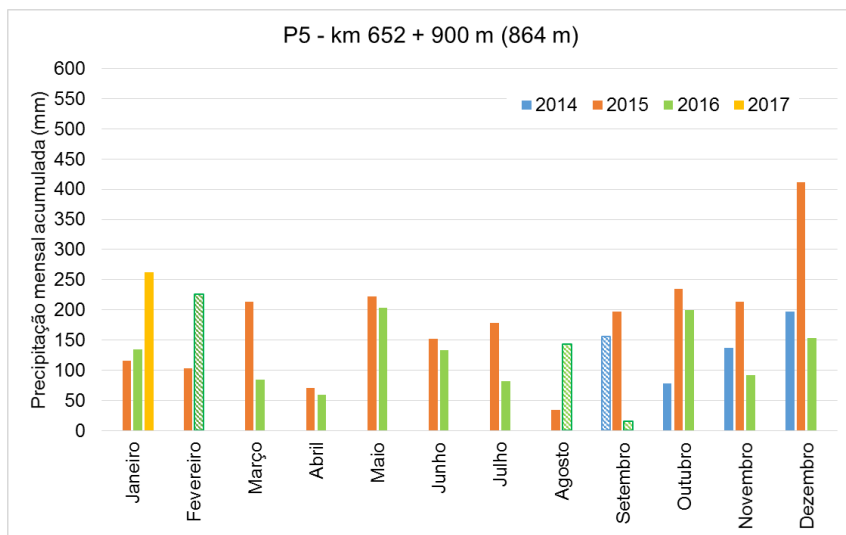
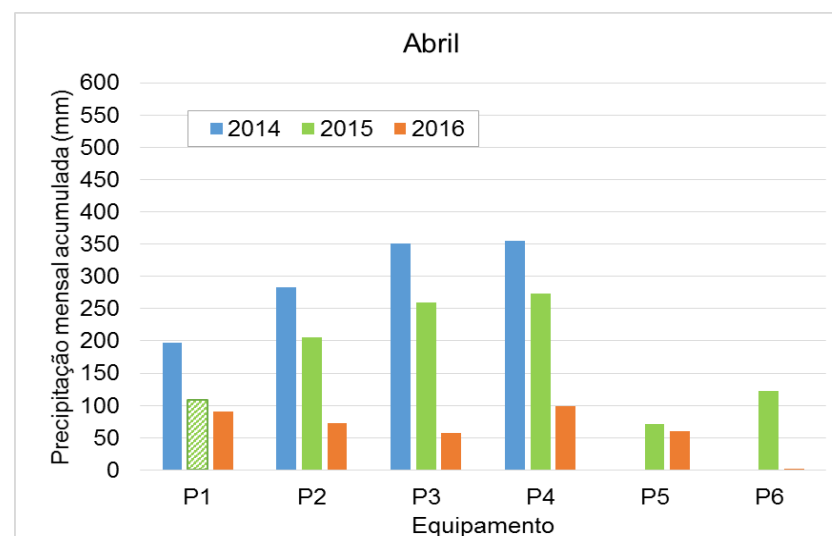
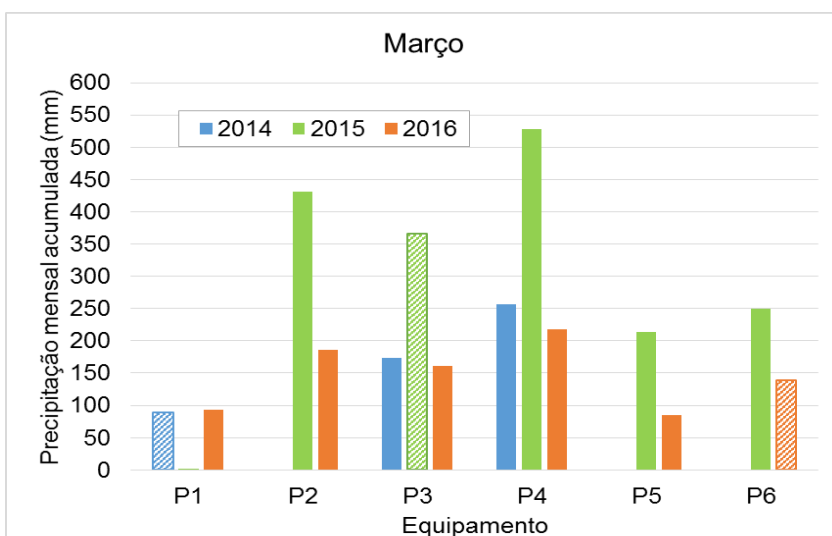
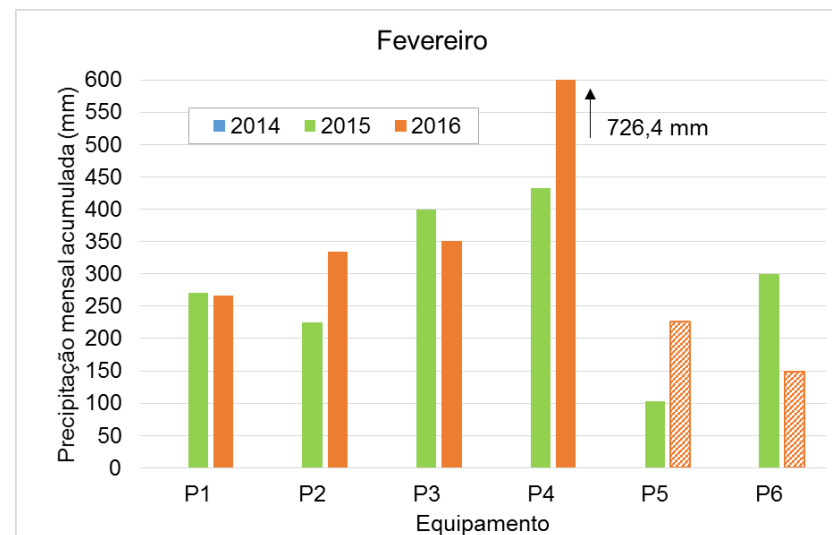
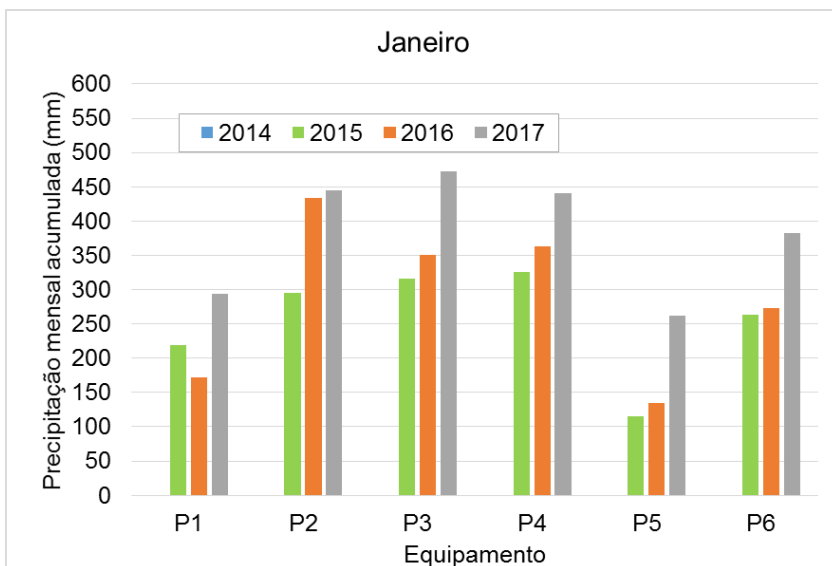
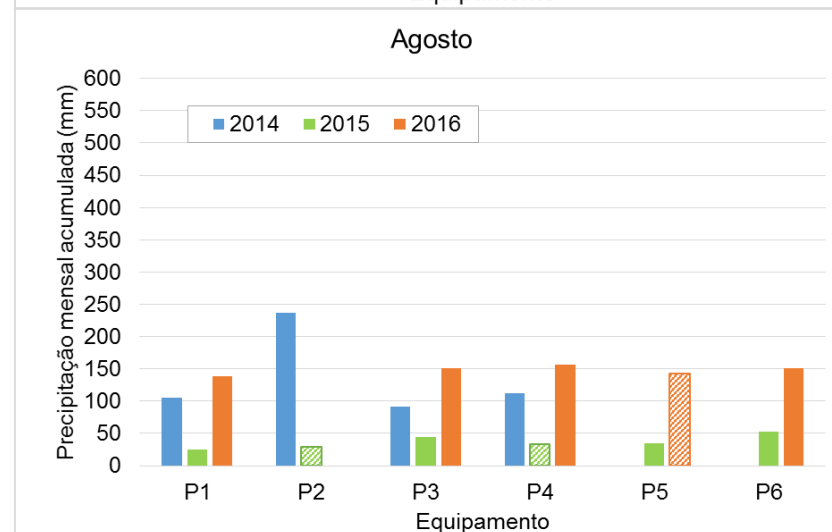
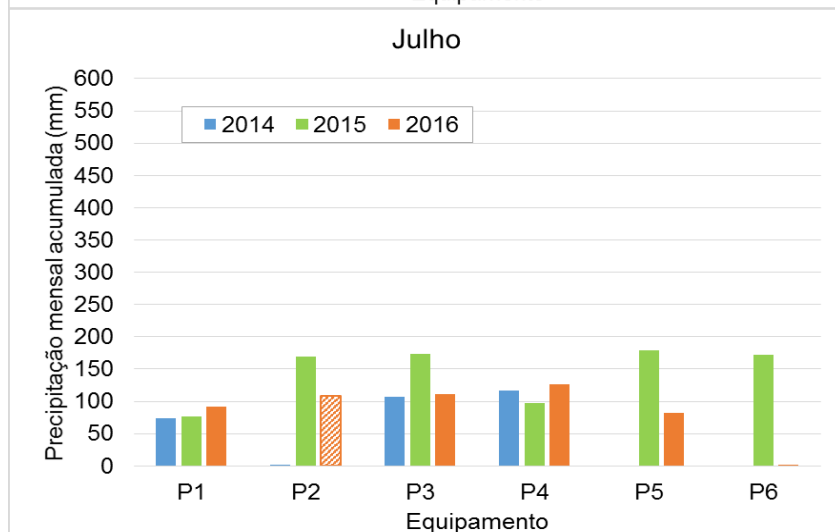
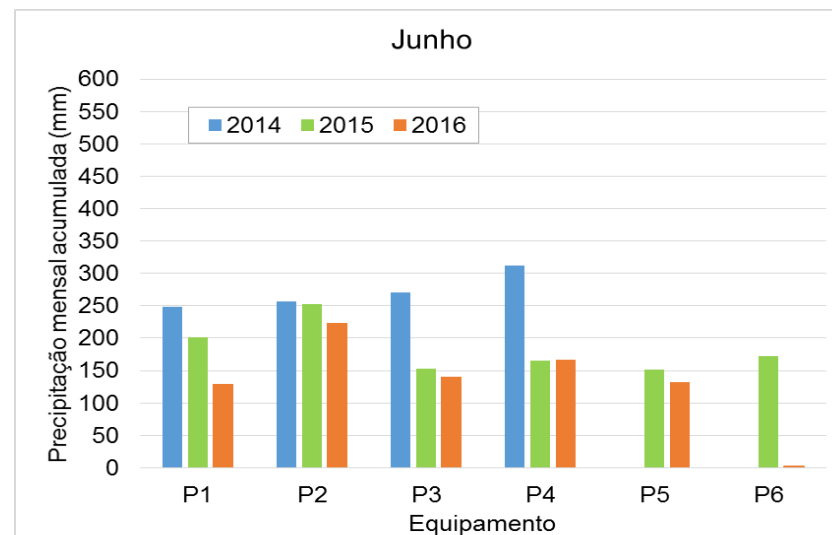
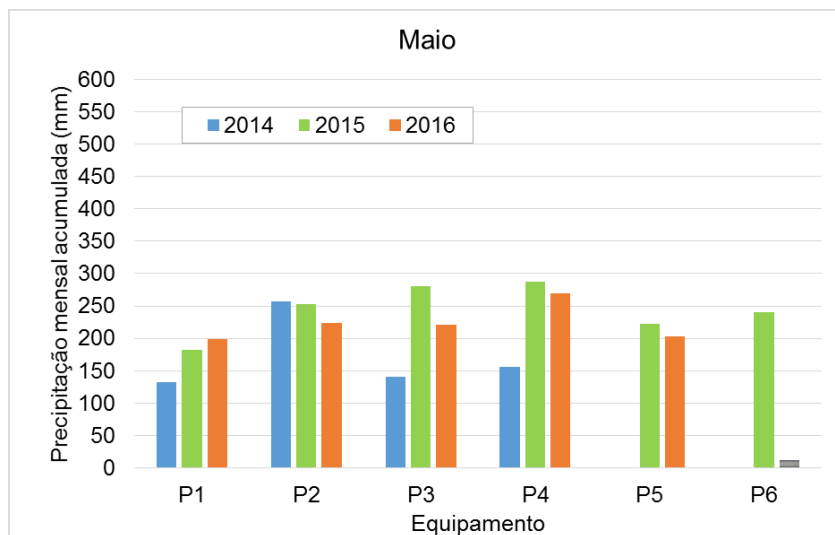


Figura 11 - Comparativo da pluviometria acumulada mensal ao longo de 2014, 2015, 2016 e 2017





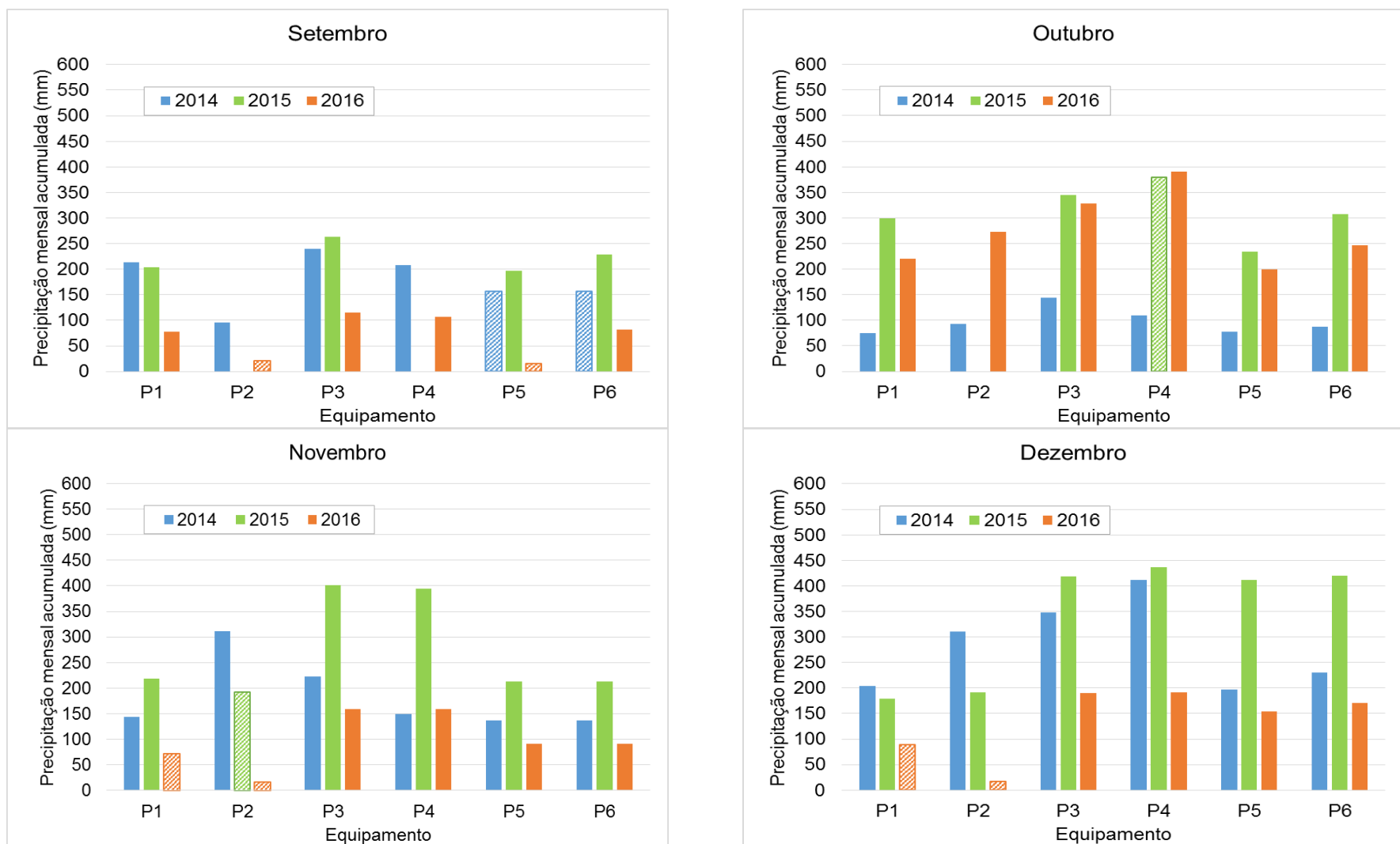


Figura 12 - Comparativo entre a pluviometria medida nos pluviógrafos de acordo com o mês de monitoramento

Cabe salientar que, além da pluviometria, o monitoramento proposto para essa região envolveu ainda a instalação de tensiômetros em dois locais, conforme apresentado na Tabela 5, para monitoramento da sucção ao longo das camadas mais superficiais.

Tabela 5 - Distribuição e profundidade de instalação dos tensiômetros

Ponto de Instalação	Tensiômetro	Profundidade (m)
P2 (km 667+900 Norte)	TENS-01	1,50 m
	TENS-02	3,00 m
P6 (km 662+000 Sul)	TENS-03	1,50 m
	TENS-04	3,00 m

A Figura 13 apresenta a série histórica do pluviógrafo P2 em conjunto com a série histórica dos tensiômetros TENS-01 e TENS-02 e a Figura 14 apresenta a série histórica do pluviógrafo P6 em conjunto com a série histórica dos registros dos tensiômetros TENS-03 e TENS-04.

Verifica-se que os tensiômetros instalados no mesmo local que o pluviógrafo P2 apresentam grandes variações e dispersão nas leituras, especialmente o TENS-01, instalado a 1,5 m de profundidade. Em contato realizado com o fabricante para esclarecer dúvidas quanto ao funcionamento dos mesmos, propôs-se uma revisão das conexões dos instrumentos com o *data logger* principal, de forma a se eliminar qualquer problema de corrosão e falha na conexão dos *plugs* (conectores) utilizados nestes pontos. Tal procedimento foi realizado em fevereiro de 2017 e novas interpretações poderão ser realizadas com o aumento da série histórica de dados.

Quanto aos tensiômetros TENS-03 e TENS-04, instalados com o pluviógrafo P6, observou-se que durante o primeiro ano de funcionamento as leituras não apresentaram grandes dispersões como nos instrumentos citados anteriormente, embora nos últimos meses as leituras tenham apresentado variações consideráveis. Assim como descrito para o ponto do P2, um procedimento de limpeza e revisão das conexões foi realizado e permitirá uma reavaliação do comportamento das leituras futuras.

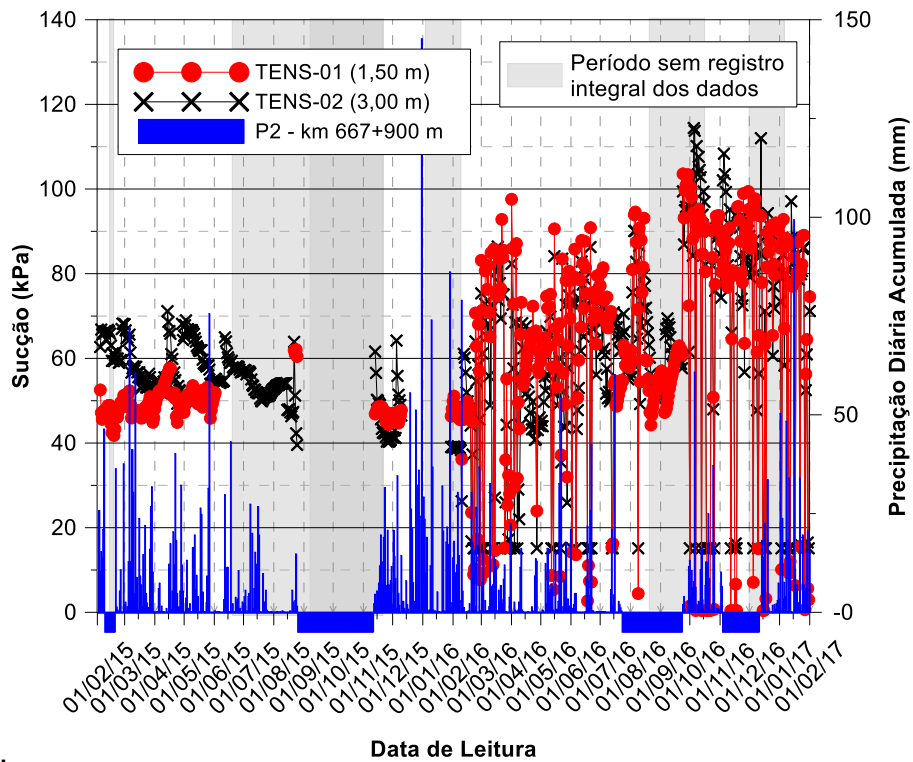


Figura 13 – Precipitação acumulada diária no P2 e valores de sucção nos TENS-01 e TENS-02

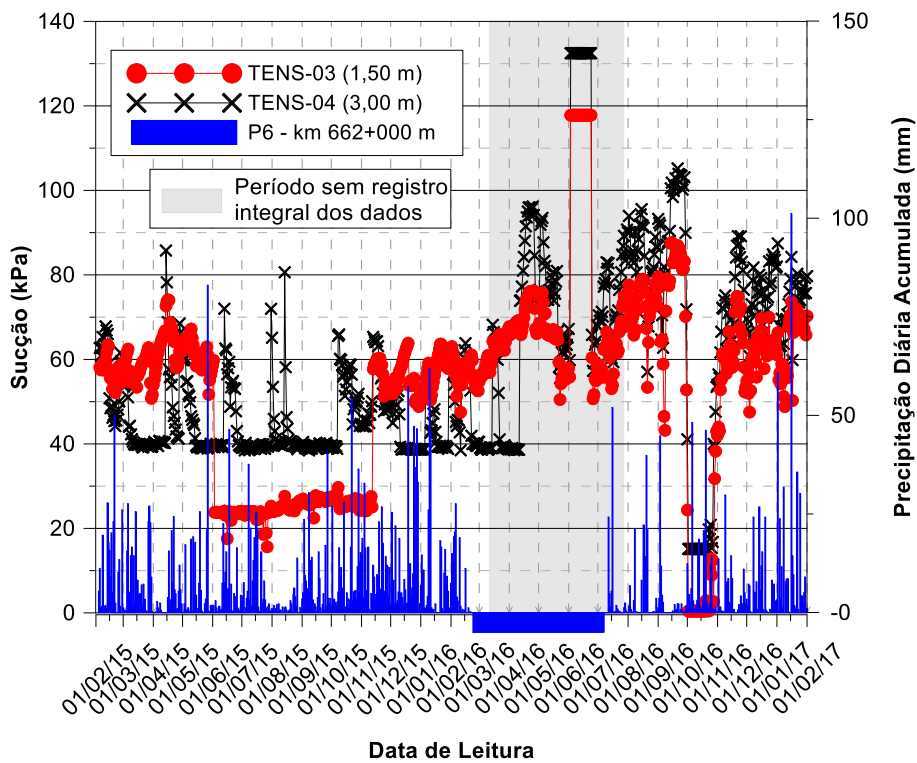


Figura 14 - Precipitação acumulada diária no P6 e valores de sucção nos TENS-03 e TENS-04

5.2.2. Monitoramento BR-101/SC

Como parte do escopo da pesquisa desenvolvida para o Projeto 3, um plano de instrumentação foi concebido e implantado para a encosta do km 140+700 m, situada em um maciço denominado Morro do Boi. Nele, propôs-se o monitoramento de aspectos geológico-geotécnicos, hidrológicos e ambientais, através de medições que identificam variações de poropressões, deslocamentos da massa de solo, deformações do sistema de contenção e precipitações pluviométricas. A instalação dos instrumentos foi realizada em três regiões do talude (Figura 15), sendo duas dentro da área do projeto de contenção e uma acima desta.

De maneira resumida, o plano de monitoramento pode ser classificado de acordo com as seguintes premissas:

- Medição do comportamento geotécnico da encosta através de piezômetros de corda vibrante (poropressões positivas), tensiômetros (poropressões negativas) e inclinômetros (deslocamentos horizontais);
- Medição de precipitação pluviométrica através de um pluviógrafo;
- Medição das cargas nos grampos ao longo da massa de solo reforçada, através de extensômetros elétricos (“*strain gages*”) ao longo do fuste e de células de carga na cabeça;
- Medição dos esforços e deslocamentos da tela metálica através de “*crackmeters*”

O registro e armazenamento dessas leituras vêm sendo realizado desde maio de 2012 por um *datalogger* principal, com intervalo de leituras de uma hora e um *datalogger* específico, que armazena os dados de pluviometria. Em complemento a isso, têm-se ainda leituras de nível d’água e de deslocamentos horizontais, medidas pelos inclinômetros verticais, que são realizadas manualmente. Nos itens subsequentes será apresentada a série histórica contendo todas as leituras desses instrumentos até o mês de janeiro de 2017.

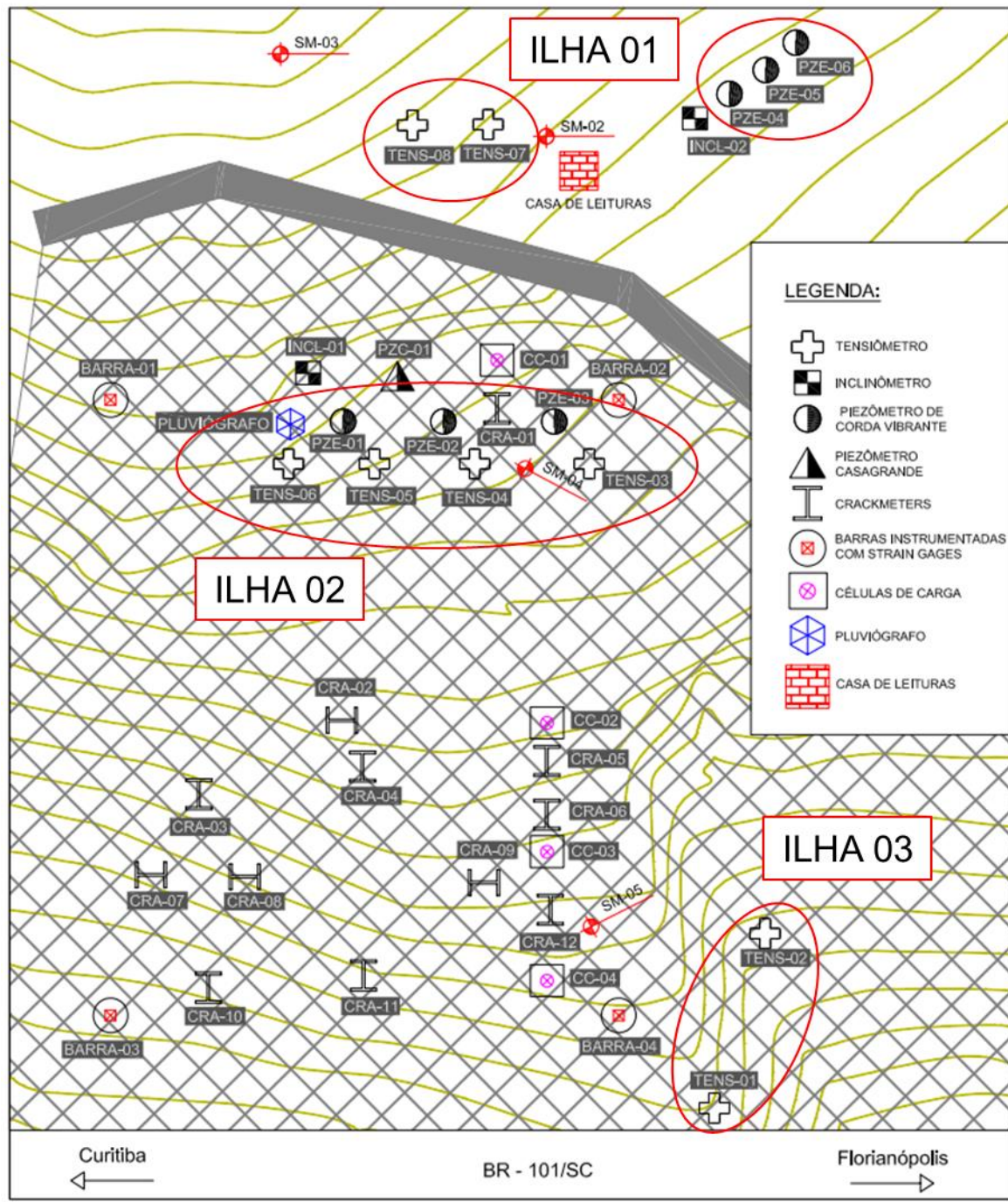


Figura 15 - Croqui de instalação dos instrumentos em planta no Morro do Boi

5.2.2.1. Nível de água

Dentre as propriedades monitoradas ao longo do período do presente projeto, têm-se as variações do nível do lençol freático (Figura 16). Tais medidas foram realizadas durante as visitas a campo a partir de um medidor de nível d'água instalado no furo do SM-04 e nos tubos dos inclinômetros INCL-01 e INCL-02. Ressalta-se que por se tratarem de leituras manuais, a frequência dos dados é menor do que para os demais instrumentos.

As informações obtidas com esses instrumentos permitiram definir uma profundidade de variação média do lençol freático entre 6 e 8 metros, sendo possível observar ainda uma pequena diferença para as duas regiões monitoradas (INCL-01 e INCL-02).

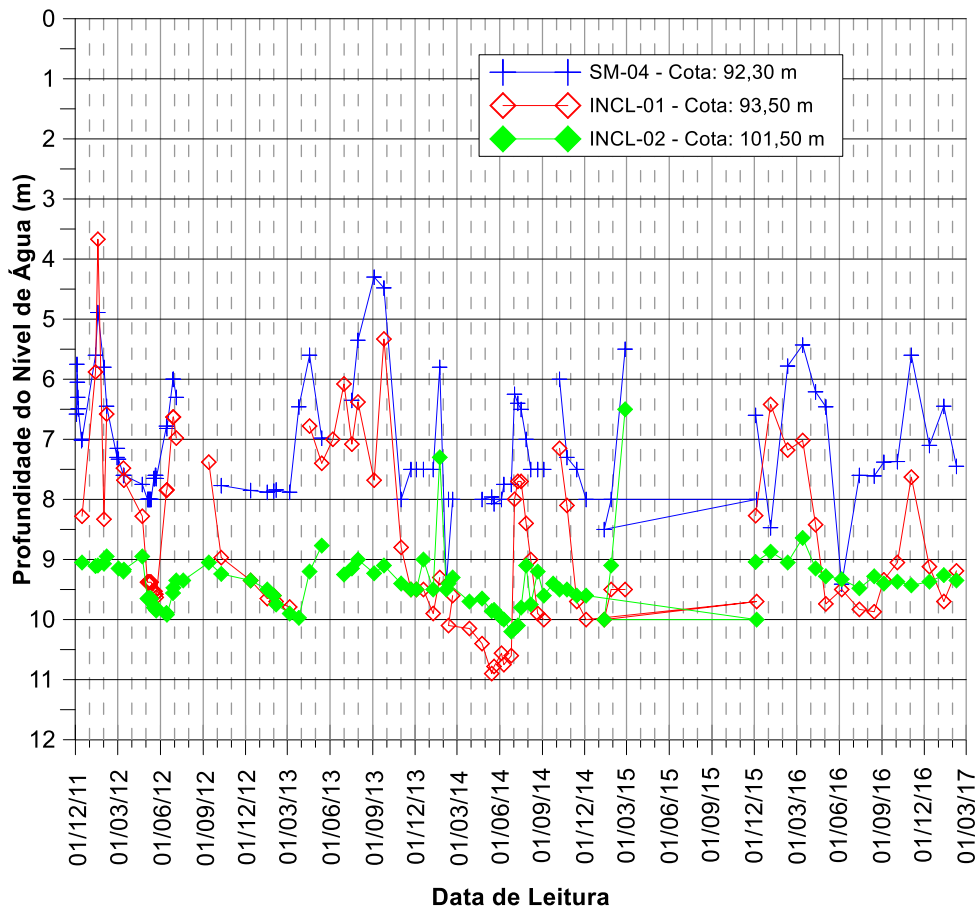


Figura 16 - Variações da profundidade do nível d'água

5.2.2.2. Pluviógrafo

De modo a aumentar o entendimento sobre o regime pluviométrico local, as precipitações vêm sendo registradas através de um pluviógrafo que realiza leituras a cada 0,20 mm de chuva. A Figura 17 apresenta a série histórica completa desse instrumento, desde o dia 01/05/2012 até o dia 01/02/2017. No intuito de identificar períodos sem registros de leituras, causados por problemas técnicos como por exemplo obstruções no equipamento, optou-se por incluir hachuras cinza no gráfico.

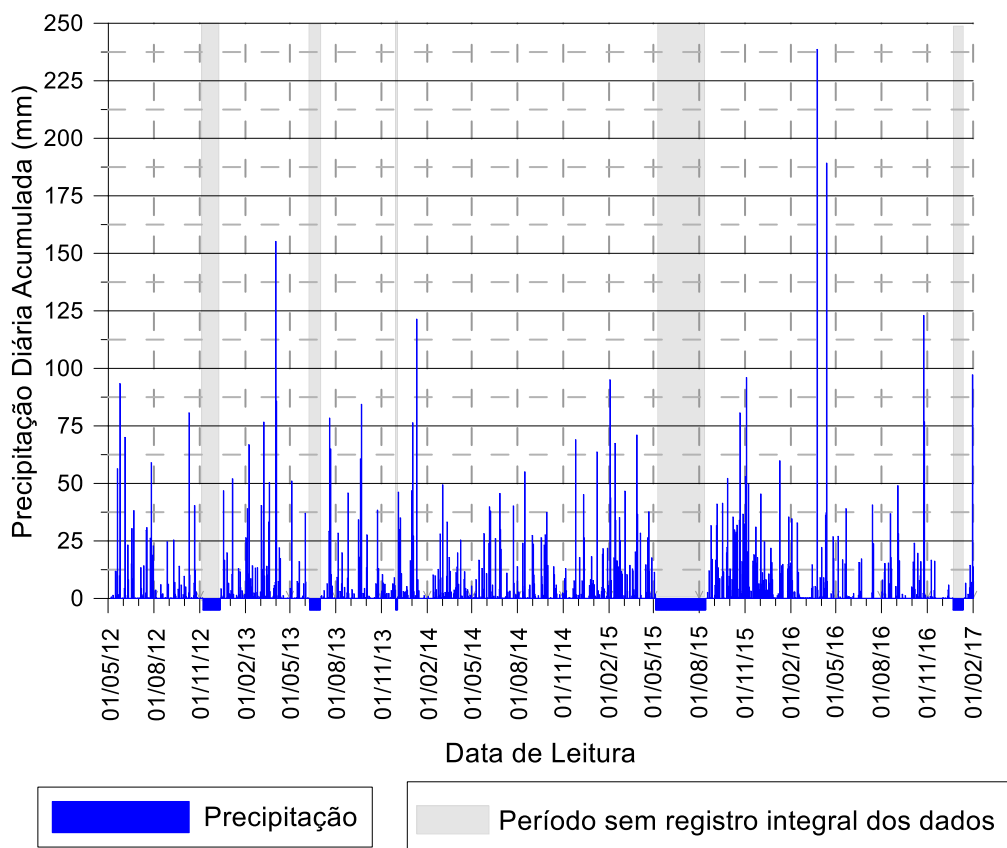


Figura 17 - Precipitação acumulada diária (mm) para o pluviógrafo do Morro do Boi

Com o objetivo de complementar as análises desses registros, estes foram agrupados de maneira a obter um comparativo mensal entre os mesmos períodos em anos anteriores (Figura 18). Períodos onde não foi possível obter o registro total dos dados foram identificados por uma hachura específica. Com base nesses resultados, é possível observar que o ano de 2015 registrou os maiores valores de precipitação

desde o início do monitoramento (2014-2017). Tal comportamento também foi observado para os registros obtidos com a instrumentação na região da BR-376/PR.

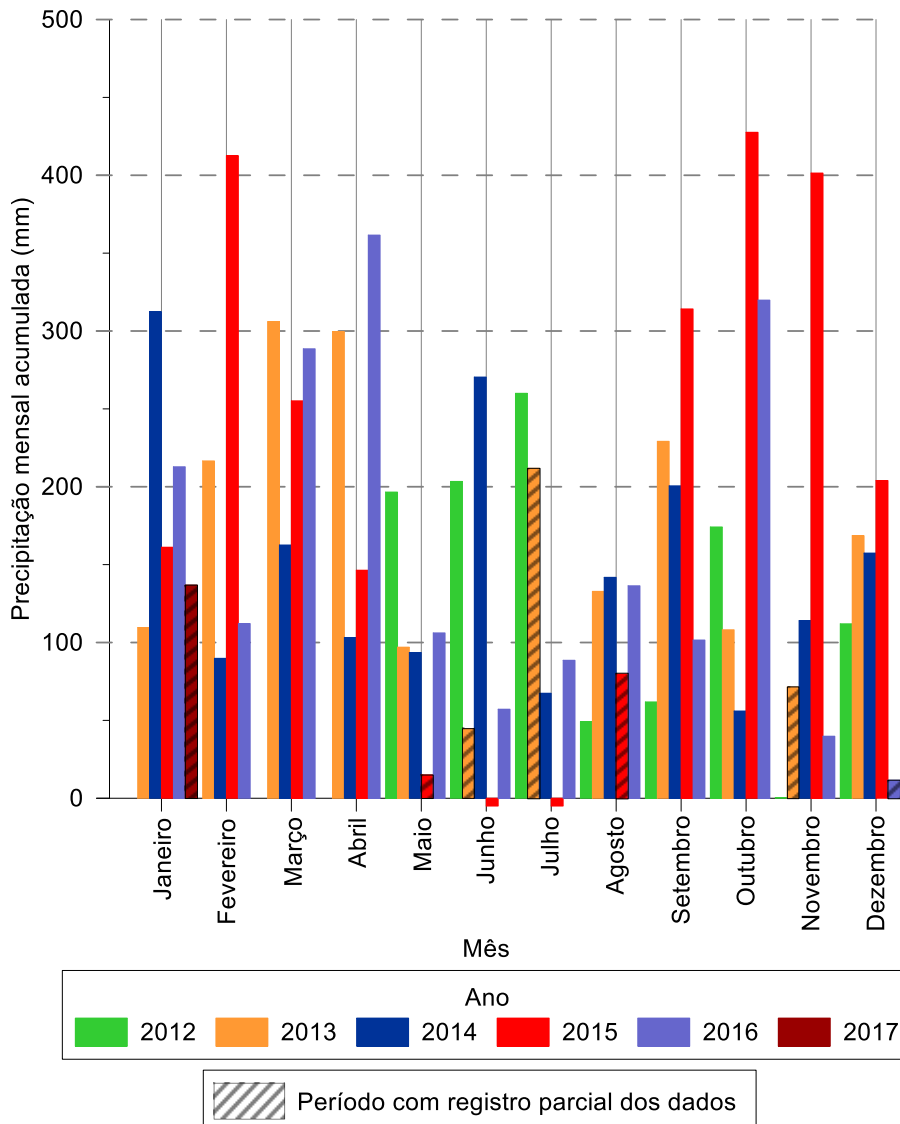


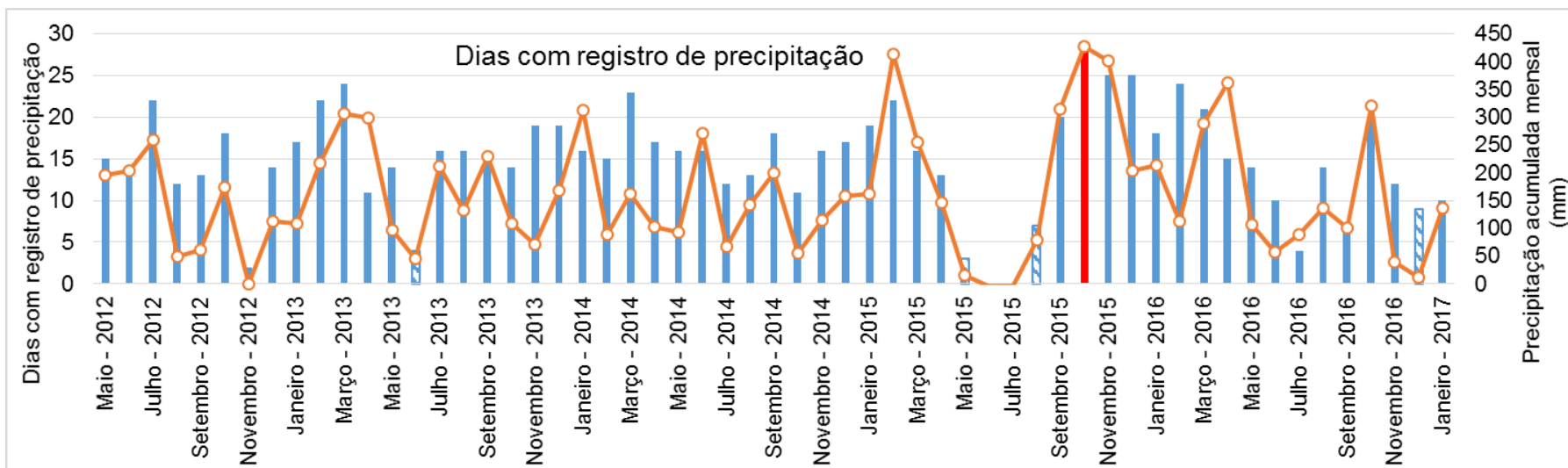
Figura 18 - Gráfico comparativo para o valor acumulado mensal

Na Figura 19 apresenta-se um detalhamento das características dos eventos pluviométricos monitorados ao longo da série histórica obtida, com vistas a associá-los com a ocorrência de movimentos de massa. Dentre as informações que podem ser extraídas desses gráficos, tem-se: dias com registro de precipitação (Figura 19a), volume máximo horário por evento (Figura 19b), volume máximo diário (Figura 19c) e

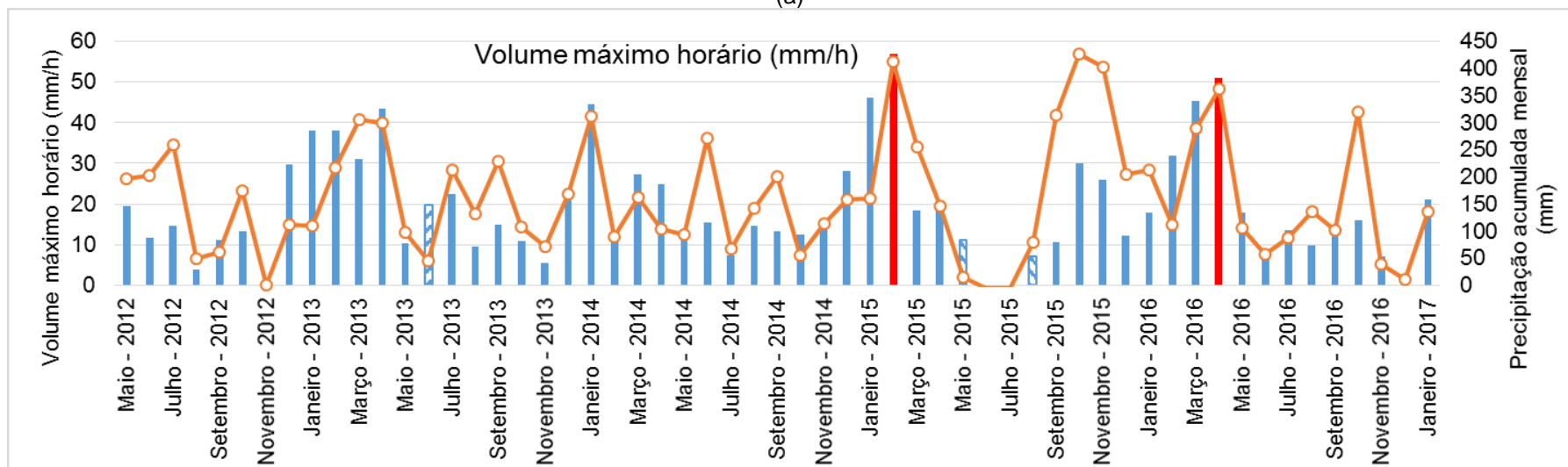
intensidade média mensal (Figura 19d), sendo os valores mais relevantes destacados com barras na cor vermelha.

Com base nesses resultados é possível observar a heterogeneidade característica dos eventos pluviométricos ao longo de um mesmo ano ao longo de todo o período monitorado. Com relação ao número de dias com registros de precipitação, verificam-se períodos (meses) com apenas quatro e outros onde choveu durante 29 dias, sendo 17 a média obtida com o banco de dados disponível até o momento.

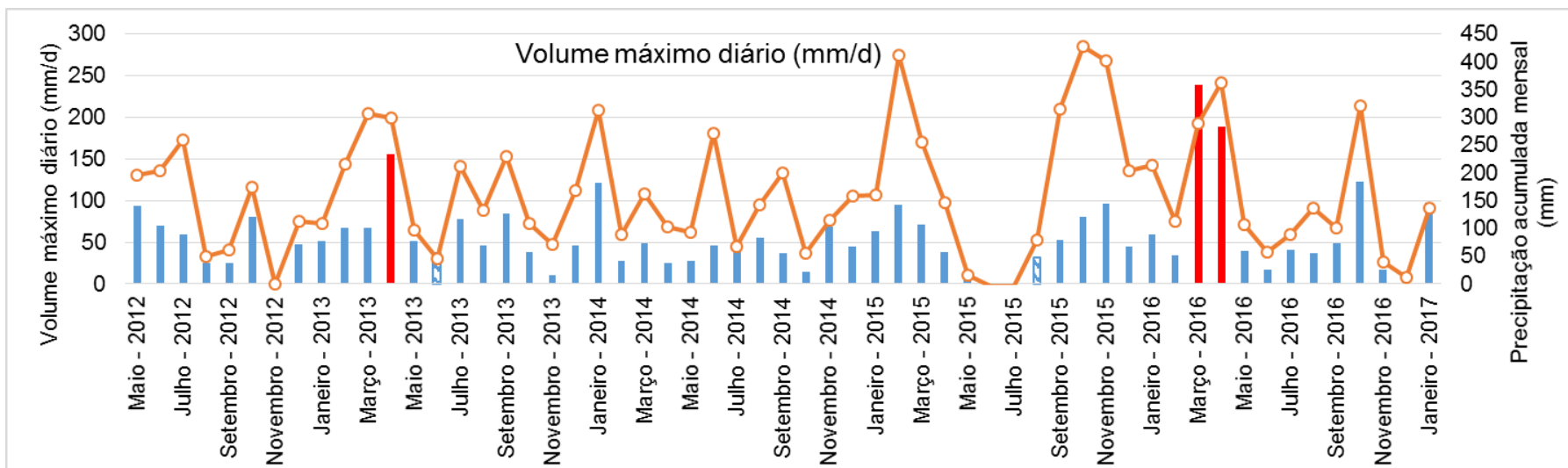
Tal dispersão reflete ainda a intensidade diária e horária dos eventos registrados. Em fevereiro de 2015, a intensidade máxima horária foi de 56,8 mm/h, o que representou um volume maior do que o obtido durante os meses de agosto de 2012, outubro de 2014 e novembro de 2016. Destacam-se ainda os meses com os três maiores volumes acumulados: novembro de 2015, fevereiro de 2015 e outubro de 2015 com registros acima de 400 mm.



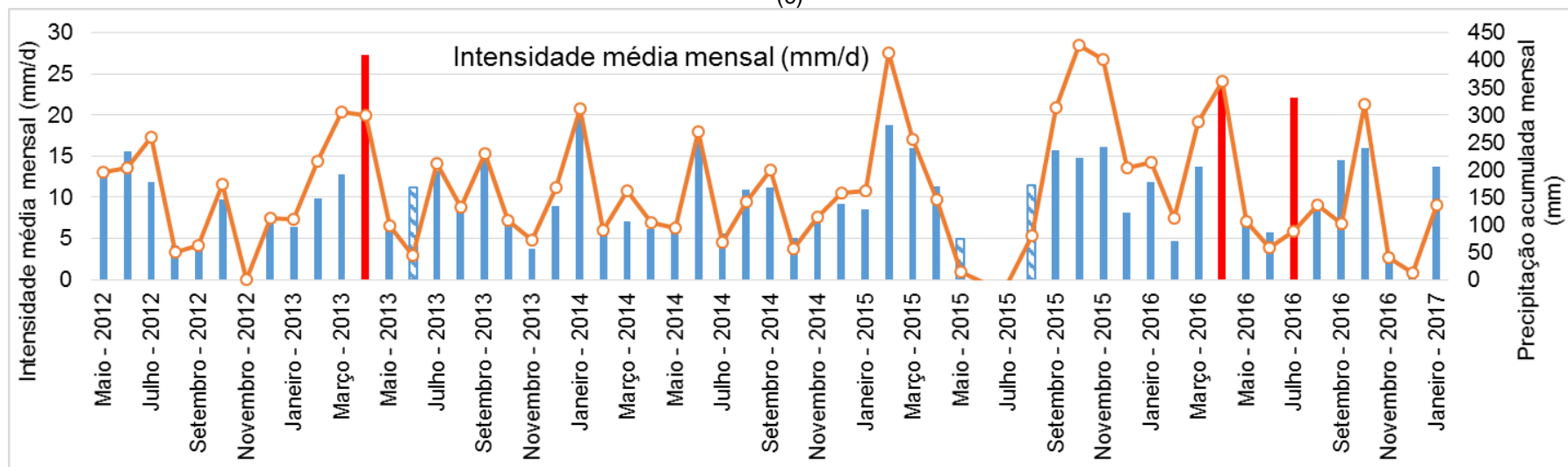
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 19 - Análise detalhada série histórica pluviometria

5.2.2.3. Piezômetros

Como parte do monitoramento geotécnico implantado na etapa inicial da pesquisa, foram instalados 6 (seis) piezômetros de corda vibrante. O processamento destas leituras permitiu analisar as variações de poropressão ao longo do tempo, em cada sensor instalado, conforme apresentado nas Figuras 20 e 21.

Observa-se que, de modo geral, o comportamento medido ao longo do período correspondente à Fase 2 do presente projeto assemelha-se ao monitoramento em anos anteriores. Os sensores intermediários e rasos (PZE-02, PZE-03, PZE-05 e PZE-06) apresentaram uma tendência estável e leituras muito similares ao longo de todo período monitorado. Com relação aos piezômetros mais profundos (PZE-01 e PZE-06), verifica-se que esses apresentaram as maiores variações de poropressão. Observa-se ainda que essas mudanças estão usualmente associadas a eventos pluviométricos com volumes a partir de 45 mm. Conforme discutido no item 5.2.2.1, o nível de água medido ao longo desse período variou em média entre 6 e 8 m de profundidade. As pequenas variações das leituras dos sensores instalados mais superficialmente resultam de seu posicionamento em uma região não saturada.

Em concordância com os valores de precipitação observados durante o ano de 2015, observa-se que as maiores variações medidas pelos instrumentos instalados em maior profundidade (PZE-01 e PZE-04) ocorrem ao longo desse período. Além disso, verifica-se que em 2016 e janeiro de 2017, a ocorrência de acumulados de chuva inferiores àqueles observados em 2015, refletiu em menores variações nos níveis de poropressão na encosta.

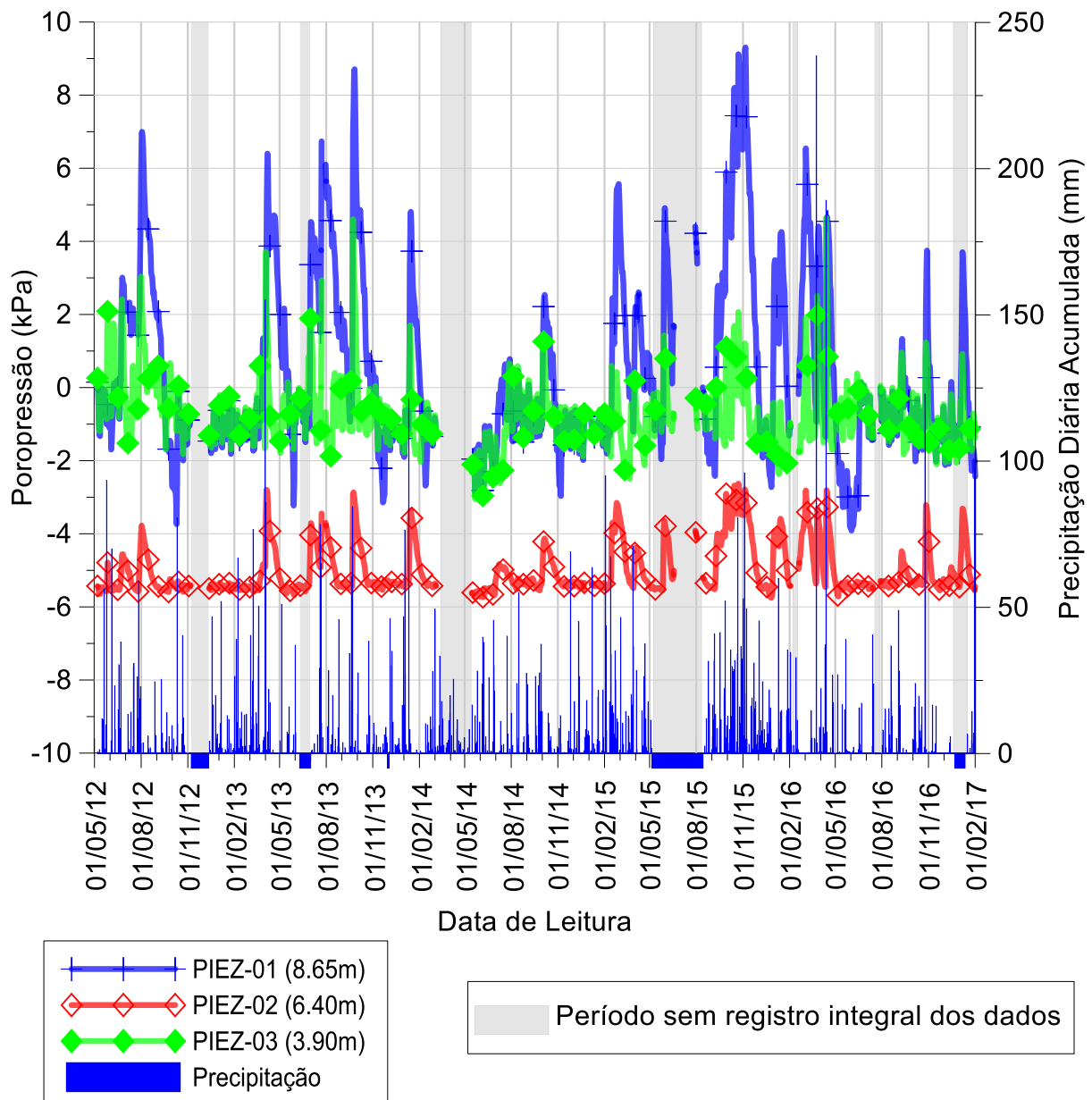


Figura 20 - Comparativo entre precipitações e variações de poropressão ao longo do monitoramento - PZE-01 a PZE-03 - Ilha 02

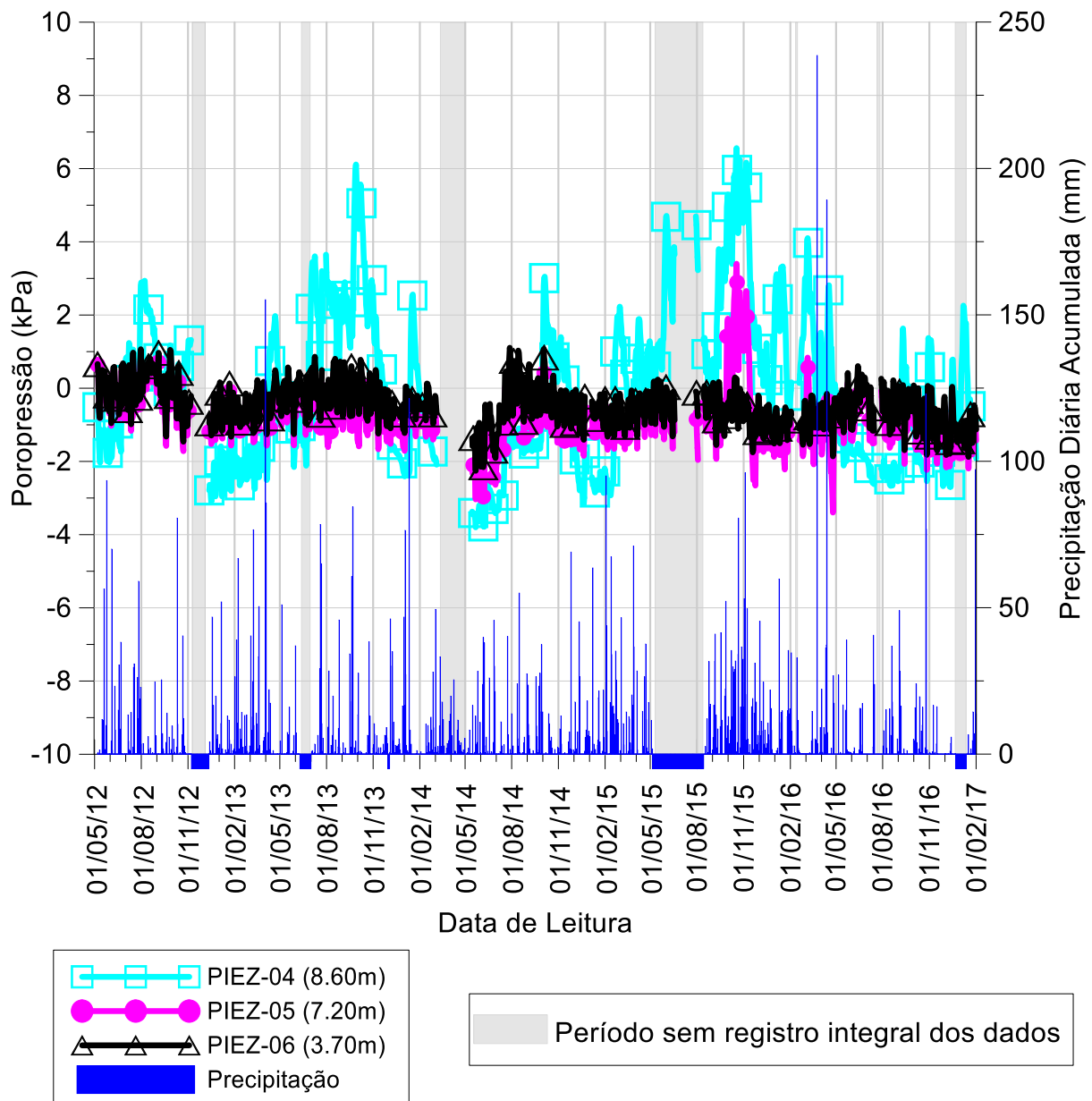


Figura 21 - Comparativo entre precipitações e variações de poropressão ao longo do monitoramento-PZE-04 a PZE-06 - Ilha 01

5.2.2.4. Tensiômetros

O monitoramento geotécnico compreende ainda 8 (oito) tensiômetros, cuja análise das leituras obtidas permitiu observar as variações de sucção matricial ao longo do tempo. Na sequência, a série histórica desses sensores será apresentada, estando

os dados agrupados de acordo com as ilhas de instrumentação, em um mesmo patamar de instalação (Tabela 6).

Tabela 6 - Distribuição e profundidade de instalação dos tensiômetros

Ponto de Instalação	Tensiômetro	Profundidade (m)
1	TENS-01	1,00 m
	TENS-02	2,00 m
2	TENS-03	0,50 m
	TENS-04	3,00 m
	TENS-05	1,00 m
3	TENS-06	2,00 m
	TENS-07	1,00 m
	TENS-08	2,00 m

Nas Figuras 22 a 24 são apresentadas as variações de sucção obtidas ao longo de toda a série histórica disponível. Observa-se um comportamento comum ao longo das três ilhas de monitoramento caracterizado por um aumento nas variações de sucção medidas no período do verão, principalmente entre os meses de novembro e abril, seguido de certa estabilidade nos demais meses. Em contrapartida, verifica-se um comportamento distinto ao longo do ano de 2015 quando não foram observados acréscimos nos valores de sucção. Tal característica pode ser associada ao grande volume de chuva registrado durante esse ano e em especial entre os meses de setembro e novembro onde, conforme apresentado no item 5.2.2.2, foram obtidas as maiores leituras de pluviometria da série histórica disponível até o momento.

Verifica-se que os instrumentos mais superficiais, instalados em 0,5 m e 1,0 m de profundidade (TENS-01, TENS-03, TENS-05 e TENS-07) apresentaram variações mais significativas que aqueles instalados em 2,0 m de profundidade (TENS-02, TENS-06 e TENS-08). Tal comportamento pode estar associado a processos de infiltração e ainda às variações de temperatura a que o solo mais superficial está exposto.

Cabe salientar que entre junho de 2015 e setembro de 2016 as leituras do TENS-04, instalado a 3,0 m de profundidade, foram desconsideradas na apresentação da série histórica. Tais registros encontravam-se oscilando na faixa de -30 kPa. Em contato realizado com o fabricante, obteve-se a informação de que tal valor condiz com

a profundidade de instalação (3,0 m) e que pode estar associado à perda de vácuo no sistema.

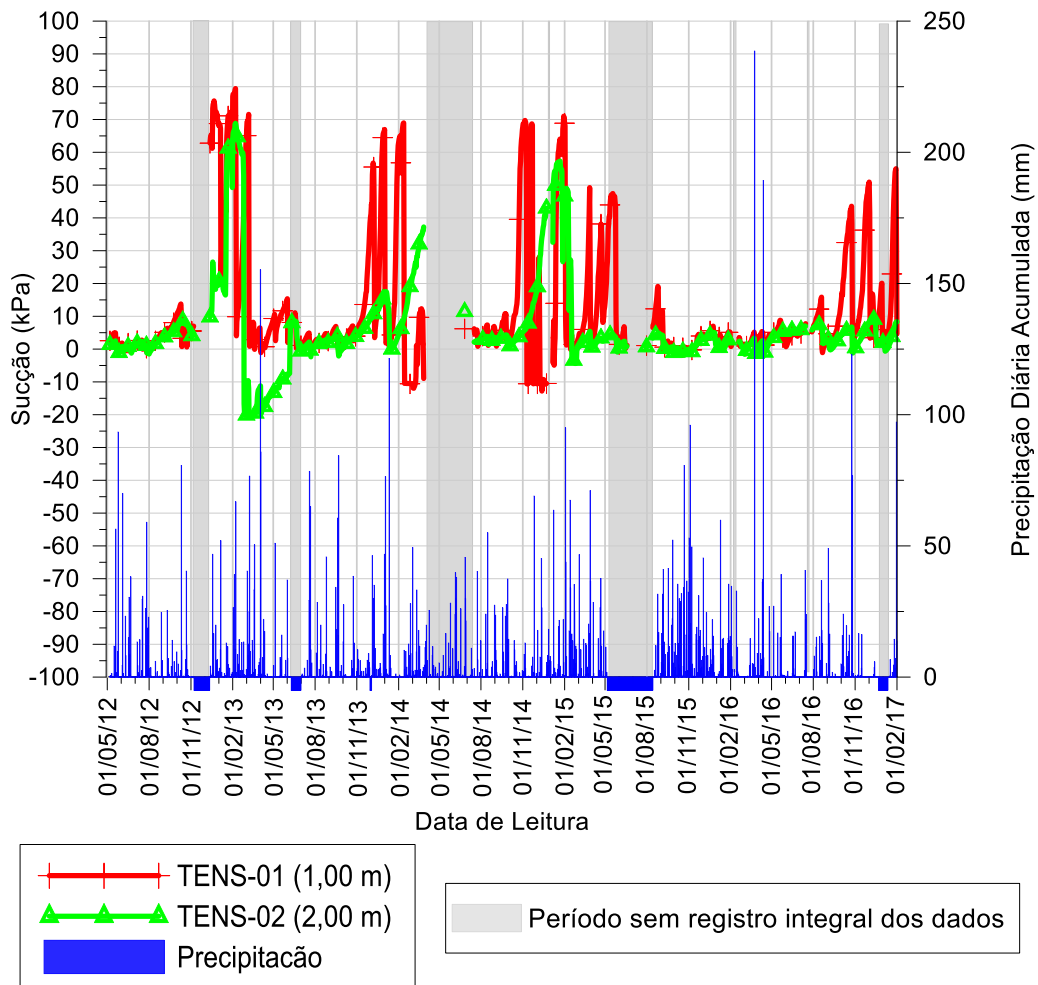


Figura 22 - Comparativo entre precipitações e a variação da sucção - TENS-01 e TENS-02

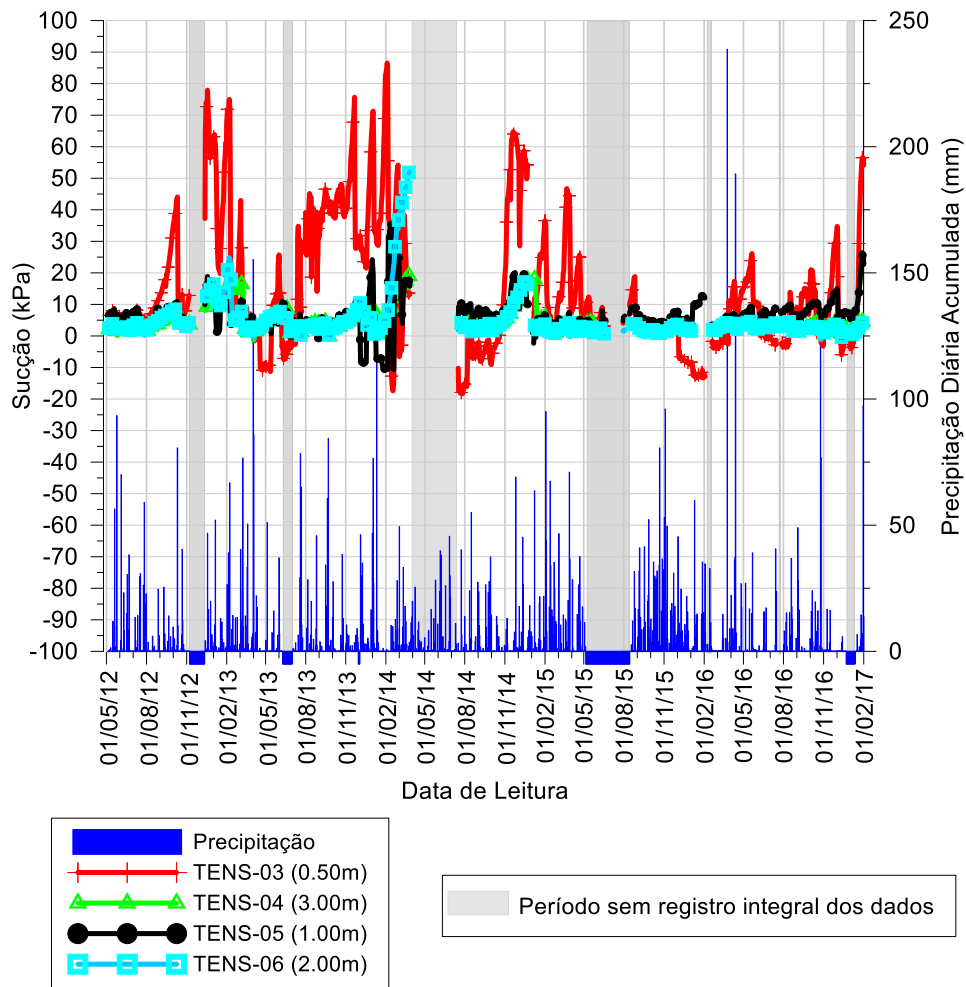


Figura 23 - Comparativo entre precipitações e a variação da sucção - TENS-03 e TENS-06

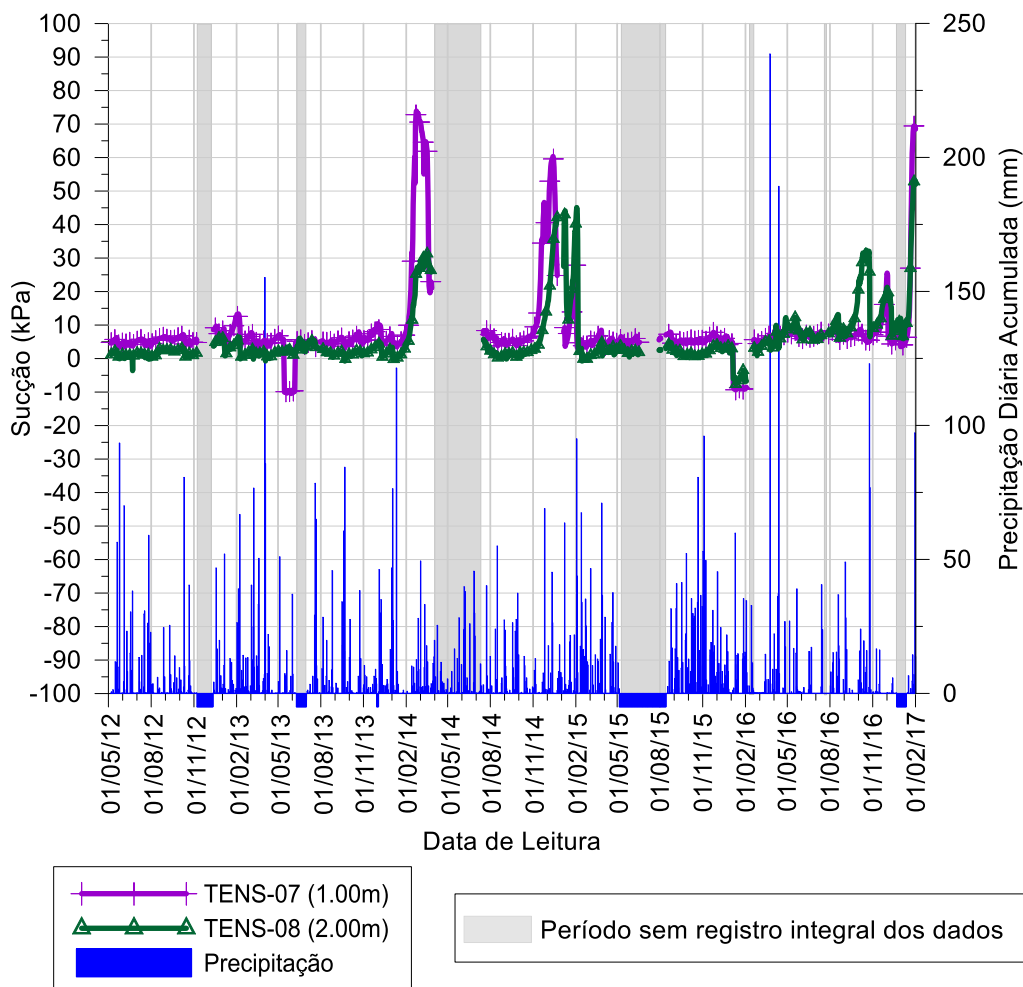


Figura 24 - Comparativo entre precipitações e a variação da sucção - TENS-07 e TENS-08

De modo a ampliar o entendimento das variações de sucção e buscando correlacionar o comportamento medido com os registros de pluviometria, buscou-se definir a correlação que melhor representa esses parâmetros. Para tal, foram utilizadas técnicas de análise exploratória de dados do tipo diagrama de pontos que permitiram analisar e interpretar a variabilidade dos parâmetros de sucção e pluviometria. Para tal, foram testados diversos acumulados de chuva sendo possível concluir que os melhores resultados (melhores correlações) foram obtidos quando avaliados volumes totais registrados ao longo de 3 dias de precipitação. Verifica-se que eventos com acúmulo menor que 100 mm estão associados a leituras de sucção maiores que 10 kPa (Figura 25a). Em contrapartida, acumulados acima de 100 mm (Figura 25b) refletem em valores de sucção abaixo de 10 kPa.

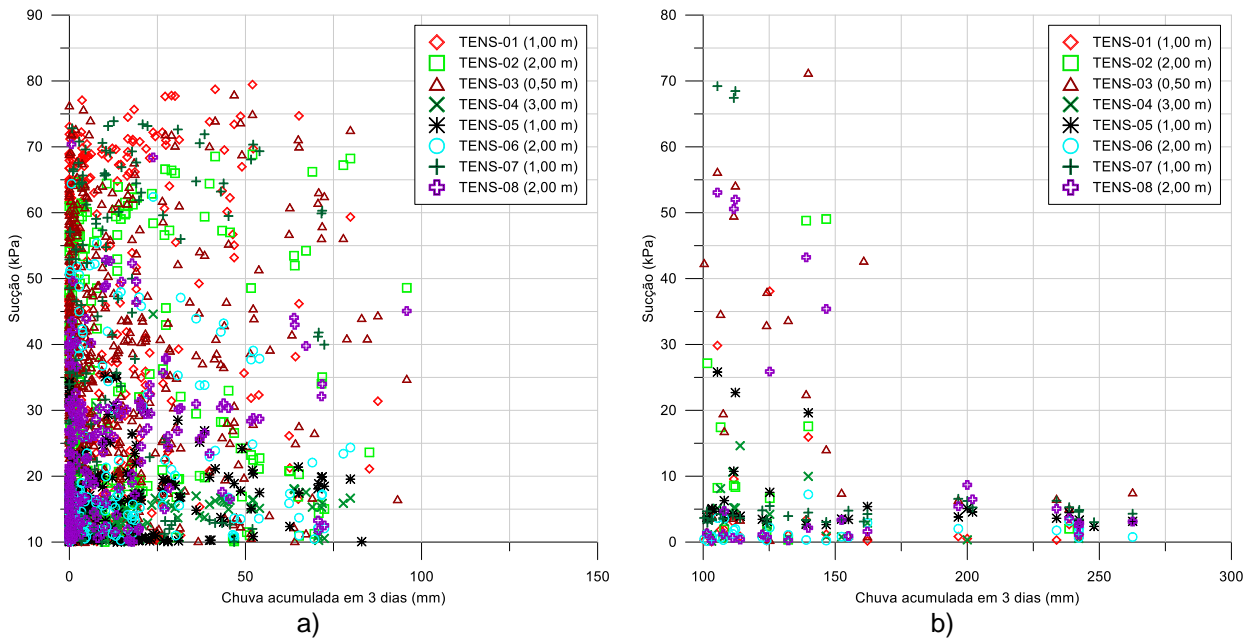


Figura 25 - Comparação entre o valor de sucção medido pelos instrumentos e precipitação acumulada em 3 dias. (a) chuva acumulada menor a 100 mm e sucção maior a 10 kPa (b) chuva acumulada maior a 100 mm

5.2.2.5. Inclinômetros

A instalação de dois inclinômetros na etapa inicial da pesquisa permitiu a análise da evolução dos deslocamentos horizontais na encosta em estudo. A convenção das leituras considera que o eixo A dos inclinômetros representa deslocamentos no sentido da declividade do talude e o eixo B perpendicular à mesma, conforme pode ser observado na Figura 26.

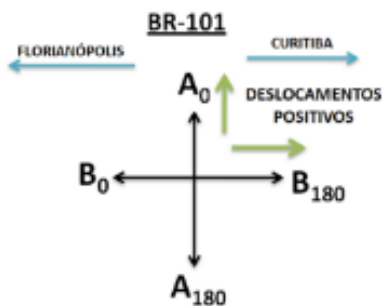


Figura 26 - Convenção das leituras dos inclinômetros - sentido dos posicionamentos

As Figuras 27 e 28 apresentam a série histórica das leituras realizadas nos inclinômetros instalados na ilha superior e a ilha intermediária da encosta. Verifica-se a ausência de movimentos significativos durante o período de leituras analisado, estando os deslocamentos máximos inferiores a 8 mm.

A partir dos dados obtidos ao longo da série histórica, observou-se que a leitura do INCL- 01 (Figura 27) apresentou uma tendência de movimentação entre os primeiros 3,0 m de profundidade no eixo, onde se apresenta com maiores diferenças e continuando o deslocamento em menor proporção até os 5,0 m. Contudo, ressalta-se a importância da continuidade do monitoramento, de modo a confirmar essa tendência e identificar eventuais deslocamentos de maior magnitude. O eixo B deste instrumento não apresenta maior variação de deslocamentos.

O INCL-02 (Figura 28) apresenta durante toda a série histórica um comportamento similar, sem maiores deslocamentos, sendo a maior leitura no seu eixo A igual a 4,8 mm no primeiro metro de profundidade. O eixo B deste instrumento não apresenta maiores variações.

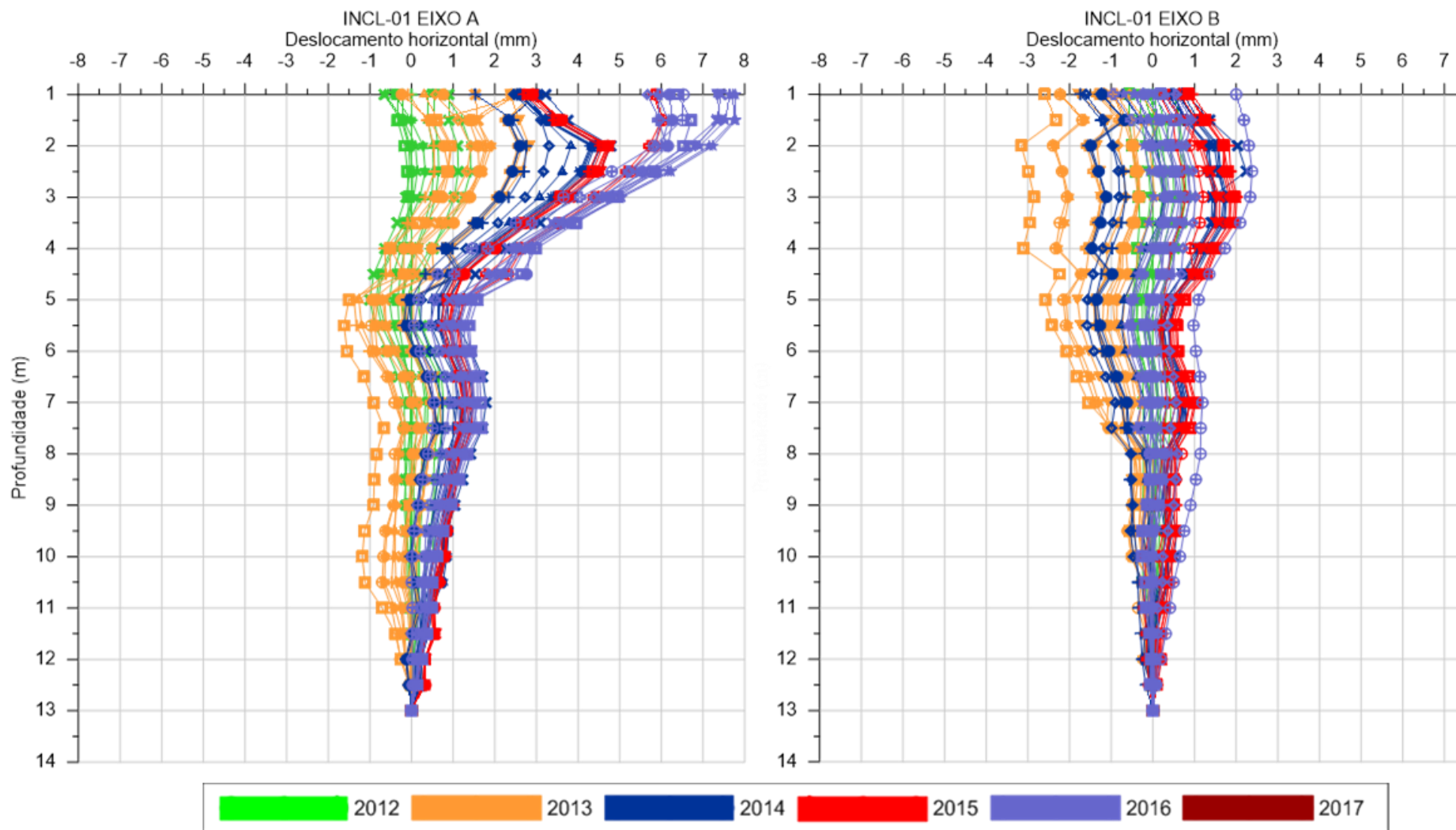


Figura 27 - Leituras de deslocamentos acumulados do INCL-01 - Eixos A e B.

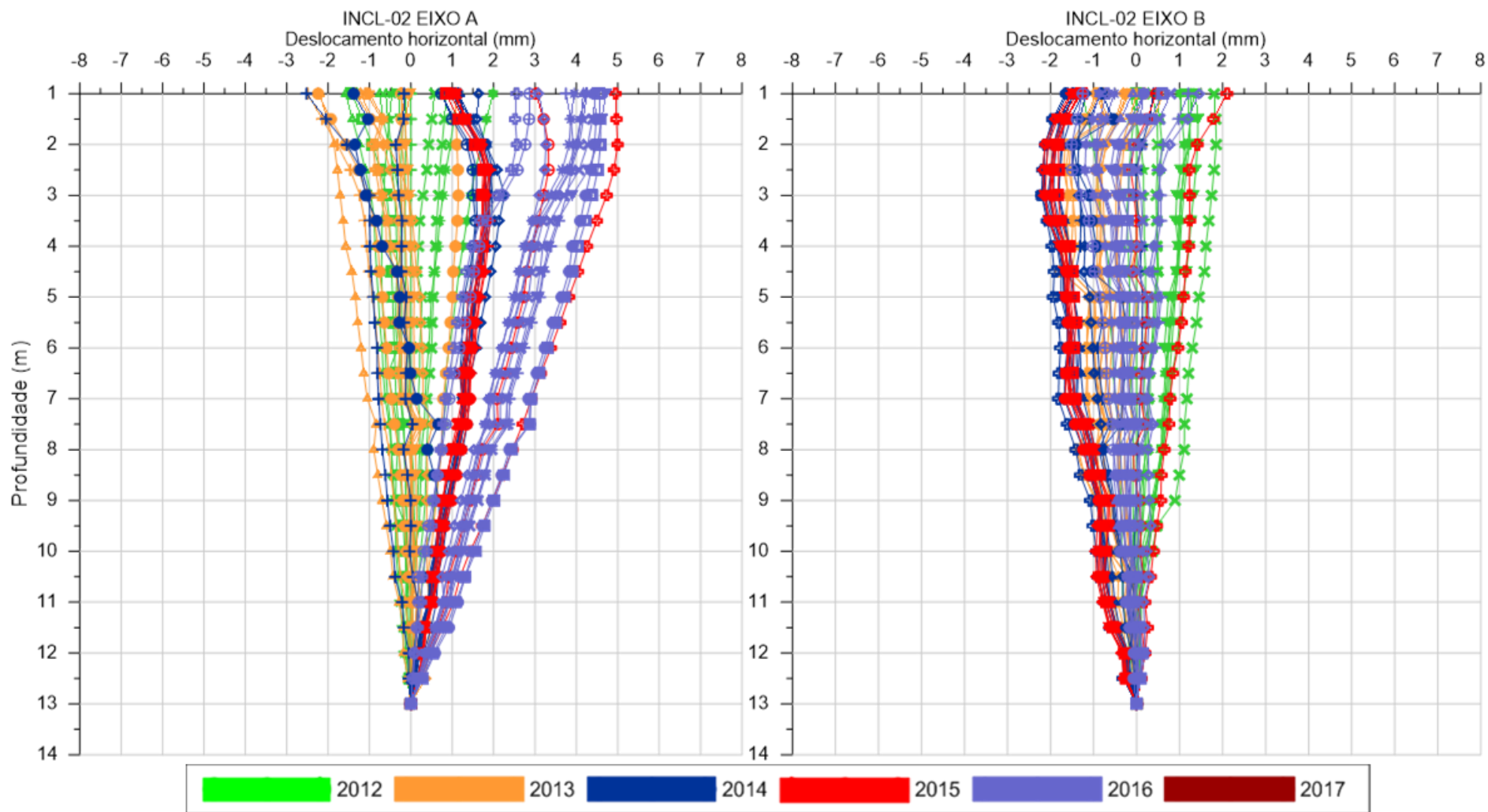


Figura 28 - Leituras de deslocamentos acumulados do INCL-02 - Eixos A e B

5.2.2.6. Células de carga

A instalação de quatro células de carga permitiu uma análise da variação no carregamento na cabeça dos grampos ao longo do tempo, conforme pode ser observado na Figura 29. Com base nesses resultados foi possível identificar dois comportamentos distintos característicos da região em estudo:

- Comportamento sazonal caracterizado por tendências de acréscimos e decréscimos nas leituras registradas;
- Aumento gradual dos carregamentos medidos principalmente nas CC-01, CC-02 e CC-03.

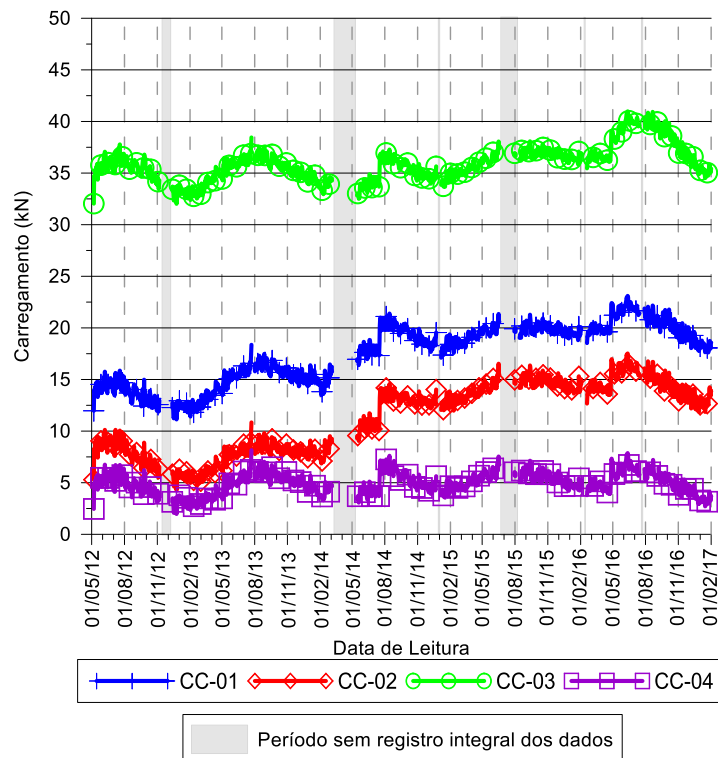


Figura 29 - Carregamento ao longo do tempo nas células de carga dos grampos durante toda a série histórica

Na Figura 30, um comparativo entre as variações no carregamento e temperatura medidos pelas células de carga é apresentado. Nele, é possível identificar uma forte correlação inversa entre esses dois parâmetros: enquanto os níveis de carregamento aumentam, a temperatura medida se reduz e, conseqüentemente, enquanto os carregamentos se reduzem, a temperatura na

encosta aumenta. Tal característica pode ser associada a processos de contração e retração do maciço como consequência de variações no nível de sucção e consequentemente do volume de água contido no solo.

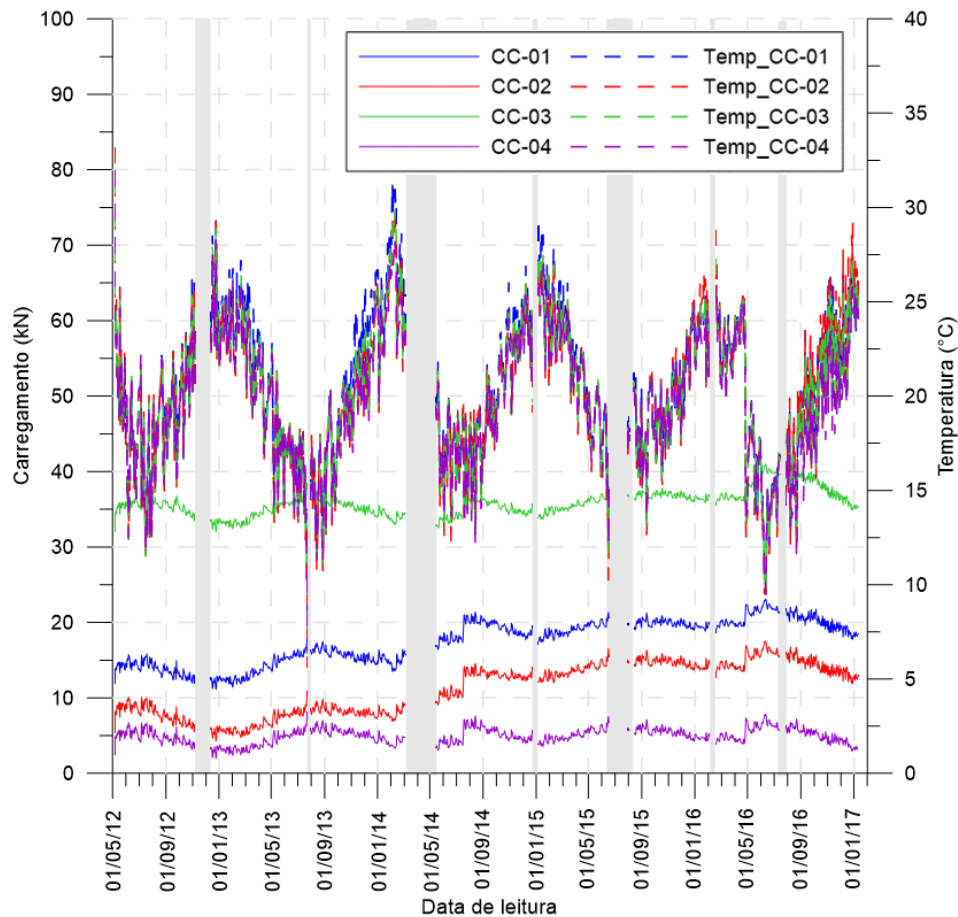


Figura 30 - Comparativo entre as leituras de temperatura e carregamento das células de carga

5.2.2.7. Crackmeters

Como parte do monitoramento do sistema de estabilização instalado na etapa inicial da pesquisa, tem-se 12 (doze) *crackmeters*. Esses sensores foram posicionados na região da tela metálica, buscando-se analisar variações em sua abertura (solicitação) ao longo do tempo. O arranjo foi definido de modo a se obter ilhas de monitoramento, estando estas leituras apresentadas na Figura 31. Os valores negativos representam uma redução na abertura e os valores positivos um aumento na abertura dos instrumentos.

De modo geral, os sensores apresentaram pequenas variações nas leituras, sendo possível ainda identificar períodos de aparente estabilidade, ao analisar intervalos de tempo menores (um ano).

Observa-se ainda que a Ilha 1 representa a região da encosta com as menores variações. Durante toda a série histórica verifica-se uma tendência de estabilidade, com redução da abertura durante o primeiro ano de monitoramento (2012) e abertura nos últimos quatro anos. Tais variações caracterizaram deslocamentos com magnitude de 7 mm quando considerada a diferença entre a menor e a maior leitura da série.

Na ilha 2 verifica-se que os instrumentos apresentaram uma tendência à estabilização nas leituras durante o ano de 2016, quando comparado ao comportamento apresentado em anos anteriores. Cabe salientar que mesmo sendo observada a estabilização relativa das leituras, a partir do mês de setembro de 2016 observa-se uma leve redução na abertura dos instrumentos CRA-03, CRA-08 e CRA-10 e aumento nas leituras do CRA-07.

Quanto à ilha 3, verifica-se que o sensor CRA-11 apresentou durante o ano de 2016 uma tendência à estabilização nas leituras. Cabe salientar que há um deslocamento atípico nos sensores CRA-11 e CRA-02 a partir do dia 15 de setembro de 2016, que se deve à circulação de pessoas sobre a tela durante roçada da vegetação no local. Após este período, as leituras dos dois instrumentos tiveram tendência a estabilização, sem maiores variações.

Por fim, verifica-se uma tendência de estabilização no monitoramento medido ao longo da ilha 4 durante os dois últimos anos de monitoramento. Ressalta-se que os instrumentos contidos nesta ilha também sofreram a influência, em pequena escala, dos procedimentos de roçada em setembro de 2016 sem alterar, contudo, a tendência de comportamento nas demais leituras.

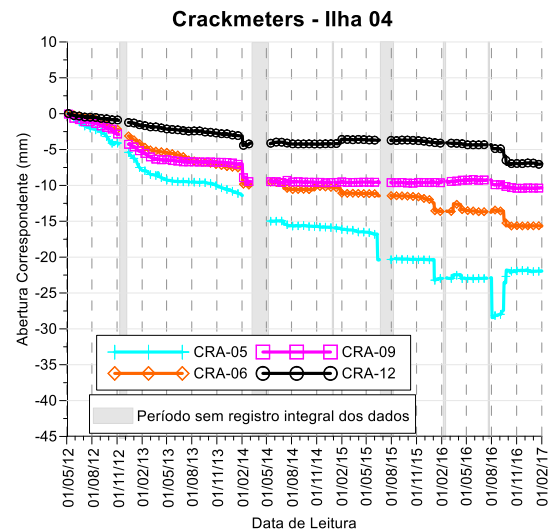
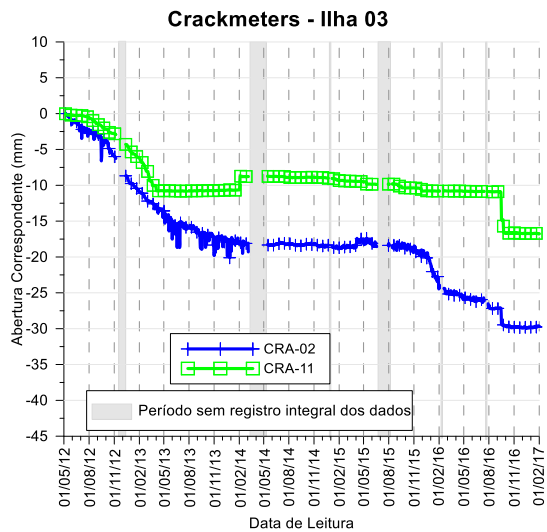
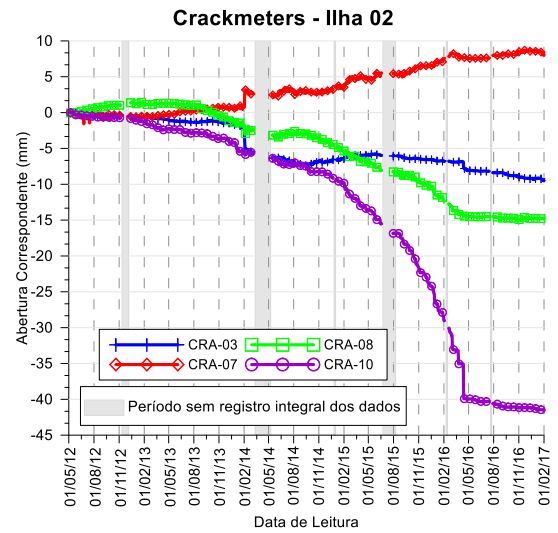
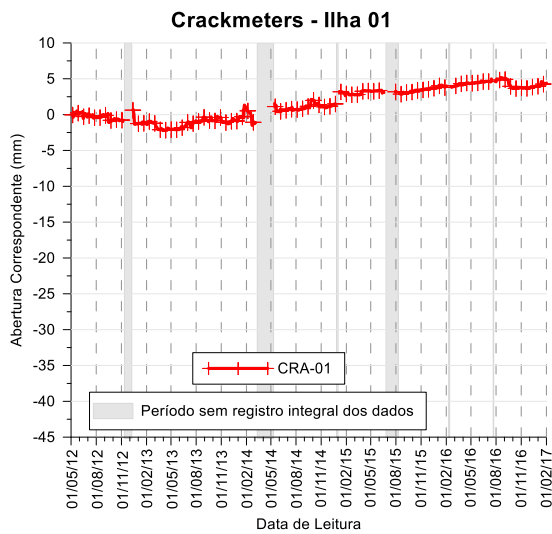


Figura 31 - Leitura dos crackmeters em relação ao tempo ao longo da série histórica

5.2.2.8. *Strain gages*

O monitoramento envolveu ainda a instalação de *strain gages* posicionados ao longo do fuste dos grampos que compõe o sistema de estabilização. Cada elemento recebeu quatro extensômetros posicionados da seguinte maneira: um sensor na porção central da camada de solo, dois sensores diametralmente opostos na camada de rocha alterada e um sensor embutido em rocha sã. Contudo, tais instrumentos foram posicionados nas seguintes profundidades em relação ao topo das barras: um sensor a 5,50 m, dois (diametralmente opostos) a 4,0 m e um a 3,50 m. Um procedimento de calibração realizado e descrito na etapa inicial da pesquisa permitiu determinar de maneira direta os valores correspondentes de carga para os sensores instalados nas posições intermediárias (diametralmente opostos).

Com base na Figura 32 é possível observar que de modo geral, os carregamentos medidos ao longo da série histórica, têm se mantido constantes. Em complemento a isso, assim como observado nos registros das células de carga, observa-se uma tendência sazonal nos registros, sendo este mais acentuado na Barra 2.

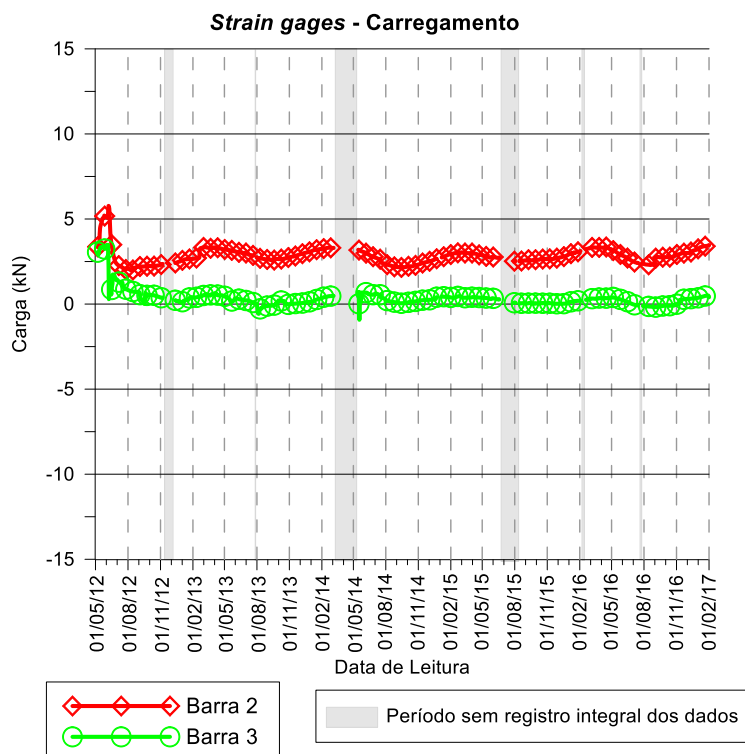


Figura 32 - Determinação de carregamentos nos *strain gages* dos grampos ao longo do tempo

Com base nas análises das informações obtidas através das séries históricas dos instrumentos que medem o deslocamento lateral do solo, deformações dos elementos de contenções e cargas nas cabeças dos grampos (inclinômetros, *strain gages* e células de carga) pode concluir-se que as variações medidas até o momento não indicam a ocorrência de mudanças significativas nos níveis de tensão na região da contenção.

Tais variações podem ser decorrentes do próprio ambiente e, em particular, da área onde ocorreram as obras de estabilização (km 140+700 m), que se encontra estável e sem carregamentos significativos nos locais onde a tela foi instrumentada.

5.3. Análise crítica integrada

5.3.1. Monitoramento BR-376/PR

5.3.1.1. Condicionantes hidrogeológicas

Como parte do escopo desenvolvido ao longo da presente pesquisa, buscou-se identificar as bacias hidrográficas onde se encontram instalados os pluviógrafos da BR-376/PR. Em um espaço físico delimitado por diversas bacias hidrográficas, é necessário promover a codificação das mesmas através de modelagens. Dentre diversos trabalhos já foram desenvolvidos, destaca-se o método desenvolvido pelo brasileiro Otto Pfafstetter (1989), difundido no meio técnico pelo nome de “Ottobacias”, que codifica as mesmas utilizando dez algarismos diretamente relacionados com a área de drenagem dos cursos d’água.

Segundo Galvão & Meneses (2005), trata-se de um método hierárquico, natural, baseado na topografia da área drenada e na topologia da rede de drenagem. Utilizando uma pequena quantidade de dígitos em um código específico para uma dada região, obtêm-se quais as bacias hidrográficas localizam-se a montante e a jusante de um determinado ponto.

Tal conceito foi aplicado para a presente pesquisa através dos procedimentos indicados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2007) e com a utilização de uma plataforma obtida a partir do site do Instituto Nacional de Dados Espaciais (INDE, 2016). A Figura 33 apresenta uma vista geral da área de contribuição para a região da BR-376/PR.

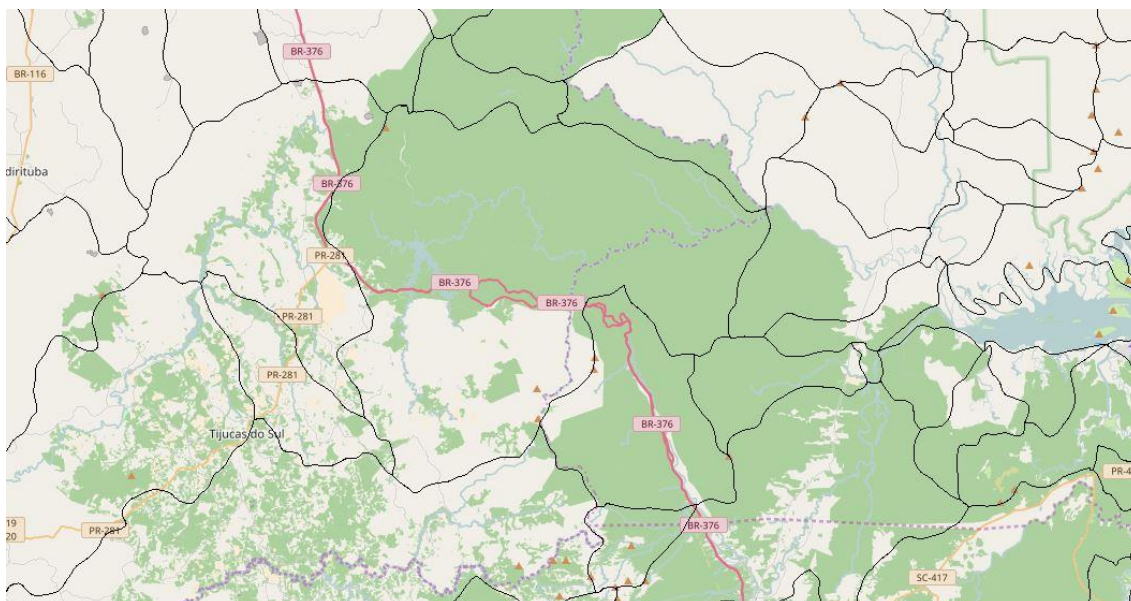


Figura 33 - Área de contribuição das bacias hidrográficas para o trecho da BR-376/PR.

Fonte: INDE (2016)

Com base na área de contribuição das bacias hidrográficas apresentada na Figura 33 e com o auxílio de um *software* de gerenciamento de informações geográficas, foi possível inserir os pluviógrafos de acordo com seu posicionamento geográfico e detalhar as bacias de interesse para a presente pesquisa (Figura 34). Nela, verifica-se que os pluviógrafos P5, P1 e P6 situam-se em uma mesma bacia de contribuição, denominada de “Área de contribuição Norte” enquanto os pluviógrafos P2, P3 e P4 estão localizados em outra bacia identificada como “Área de contribuição Sul”.

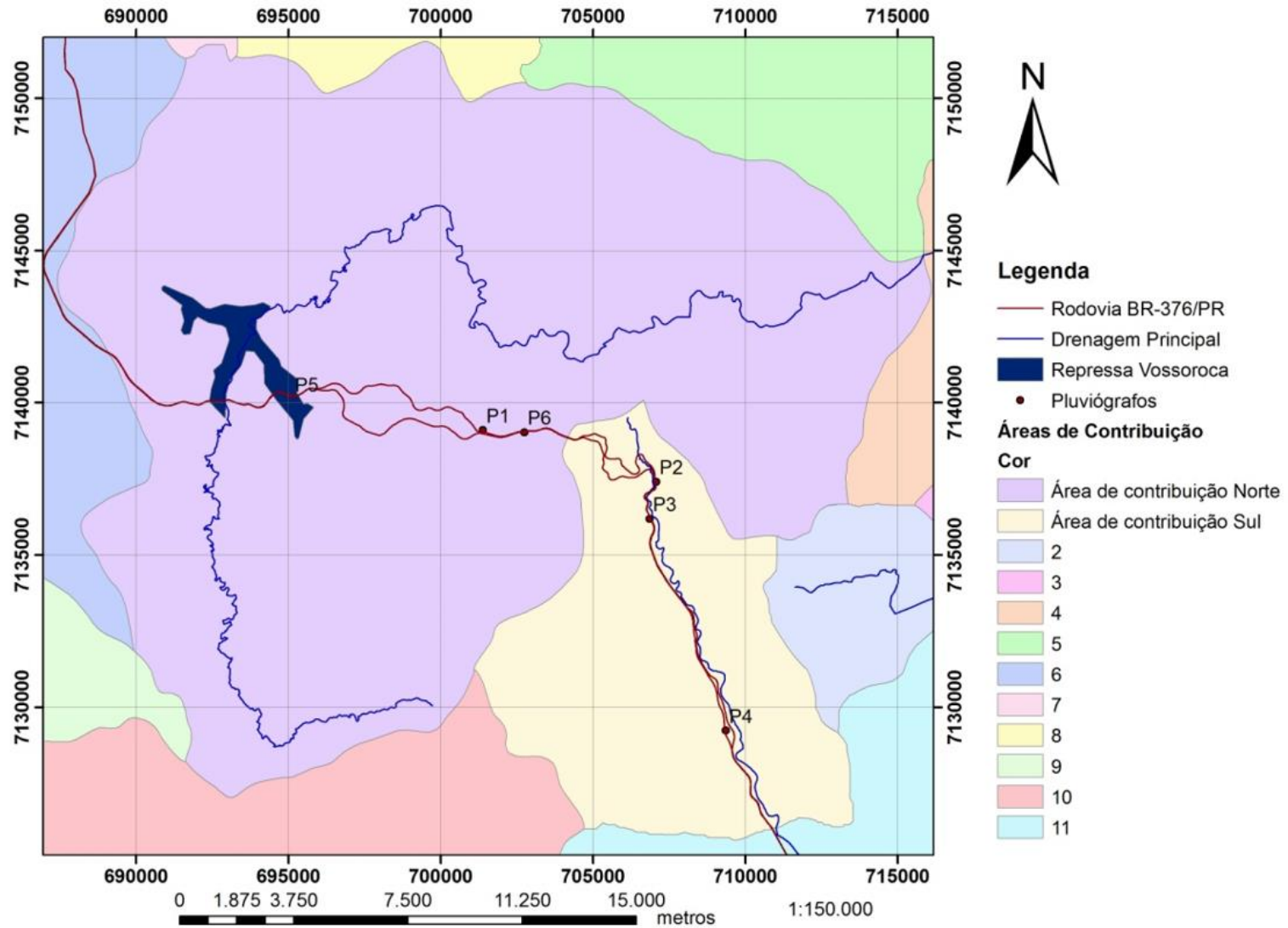


Figura 34 - Delimitação das bacias hidrográficas que compõem a região de estudos da Serra do Mar na rodovia BR-376/PR.

Na sequência, buscou-se avaliar e identificar a área de influência específica de cada pluviógrafo conforme pode ser observado na Tabela 7. Tais limites foram definidos considerando a metade da distância real em quilômetros entre os pluviógrafos, respeitando as fronteiras entre bacias e diferenças de altitude e de modo a sobrepor sempre que possível um ou dois quilômetros de modo a considerar uma margem de segurança em interpretações futuras.

Tabela 7 - Delimitação das áreas de influência dos pluviógrafos.

Pluviógrafos	km	Área de influência	
		Início	Fim
P5	652+900	644+000	657+000
P1	660+570	656+000	661+000
P6	662+000	661+000	663+000
P2	667+900	663+000	669+000
P3	669+300	668+000	672+000
P4	676+800	671+000	680+000

Em complemento aos dados de pluviometria obtidos com essas seis estações, destaca-se a série histórica do pluviógrafo de Itararé, operado pela Transpetro no km 669+920 m, cujas leituras foram utilizadas ao longo da etapa inicial da presente pesquisa (ALS, 2015). Os registros disponíveis para esse equipamento compreendem um período entre 07/03/2006 e 23/04/2015, enquanto os pluviógrafos P1 a P6, começaram a operar entre 27/02/2014 e 09/09/2014 e permanecem ativos até o presente momento. A Tabela 8 apresenta um resumo com as principais características desses instrumentos, estando os mesmos apresentados em função do local de instalação ao longo da rodovia. Conforme descrito ao longo do item 5.2.1, todos os equipamentos possuem falhas intermitentes ou períodos onde os mesmos não registraram os volumes precipitados durante o monitoramento descrito.

Tabela 8 - Pluviógrafos instalados ao longo da BR 376.

Equipamento	Altitude	km	Coordenadas	Início de registro	Fim do registro
P5	864 m	652+900	695105; 7140121	09/09/2014	Ativa
P1	800 m	660+570	701337; 7138964	12/03/2014	Ativa
P6	790 m	662+000	702744; 7139033	09/09/2014	Ativa
P2	544 m	667+900	707073; 7137405	12/03/2014	Ativa
P3	469 m	669+300	706862; 7136189	27/02/2014	Ativa
Itararé	460 m	669+920	706898; 7135677	07/03/2006	23/04/2015
P4	190 m	676+800	709353; 7129240	01/03/2014	Ativa

Dessa forma, uma vez que o pluviógrafo localizado em Itararé possui a maior base de dados, buscou-se estabelecer uma relação entre seus registros e dos demais pluviógrafos (P1 a P6). Para tal, inicialmente buscou-se definir uma correlação linear entre as séries de leituras, ou seja, analisar possíveis relações entre elas. O coeficiente de correlação linear, também conhecido como Momento-Produto de Pearson, é utilizado para medir o grau de relacionamento linear entre os dados emparelhados de variáveis X e Y em uma amostra. Como resultados, tem-se um valor que traduz a intensidade da relação entre duas variáveis. (Andriotti, 2005). Para cada amostra (leituras), tem-se um valor x_i que é a leitura do instrumento X, y_i a leitura do instrumento Y, \bar{x} a média aritmética das leituras do instrumento X e \bar{y} representando a média aritmética das leituras do instrumento Y, conforme apresentado na Equação 1.

$$\hat{\rho}(X, Y) = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad \text{Equação 1}$$

Na Tabela 9 os resultados obtidos com essas análises são apresentados. Verifica-se que as melhores correlações foram obtidas com os instrumentos P2, P3 e P4, instalados na mesma bacia de contribuição da estação Itararé (Sul). Cabe salientar ainda que a pior correlação encontrada foi para o equipamento P5 que, além de estar localizado na maior cota (altitude), representa o equipamento mais afastado (aproximadamente 17 km) da mesma.

Tabela 9 - Coeficiente de correlação linear entre pluviógrafos

P1 - Itararé	0,62
P2 - Itararé	0,75
P3 - Itararé	0,76
P4 - Itararé	0,76
P5 - Itararé	0,28
P6 - Itararé	0,44

D'Orsi (2010) sugere em seu trabalho uma análise comparativa entre os volumes diários precipitados buscando identificar inicialmente qual equipamento é responsável pelas maiores leituras. Para tal, inicialmente foi necessário avaliar individualmente o número de dias com maiores registros nos pluviógrafos instalados em comparação com os dados medidos pela estação de Itararé.

A Tabela 10 mostra a quantidade de eventos considerados e os resultados obtidos para cada caso. É necessário ressaltar que uma vez que as análises foram feitas em pares, foram considerados apenas os períodos em que houve registros tanto no pluviógrafo em análise como no de Itararé. Na Figura 35 tais resultados são ilustrados em função da cota de instalação de cada equipamento. Verifica-se, por exemplo, que enquanto P5 registrou eventos maiores que Itararé em apenas 37% dos casos, para o P3 este valor chegou a 69%. Essa constatação reforça a importância da recomendação de se monitorar regiões serranas em diferentes altitudes.

Tabela 10 - Análise individual - maiores volumes de chuva em 24h quando comparado à estação de Itararé.

		P5	P1	P6	P2	P3	P4
Pluviógrafos							
Número de eventos	P1 a P6	72	169	82	206	273	234
	Itararé	122	193	119	144	120	169
	Total	194	362	201	350	393	403
% Ocorrências onde leitura pluviógrafo é maior que a de Itararé		37	47	41	59	69	58

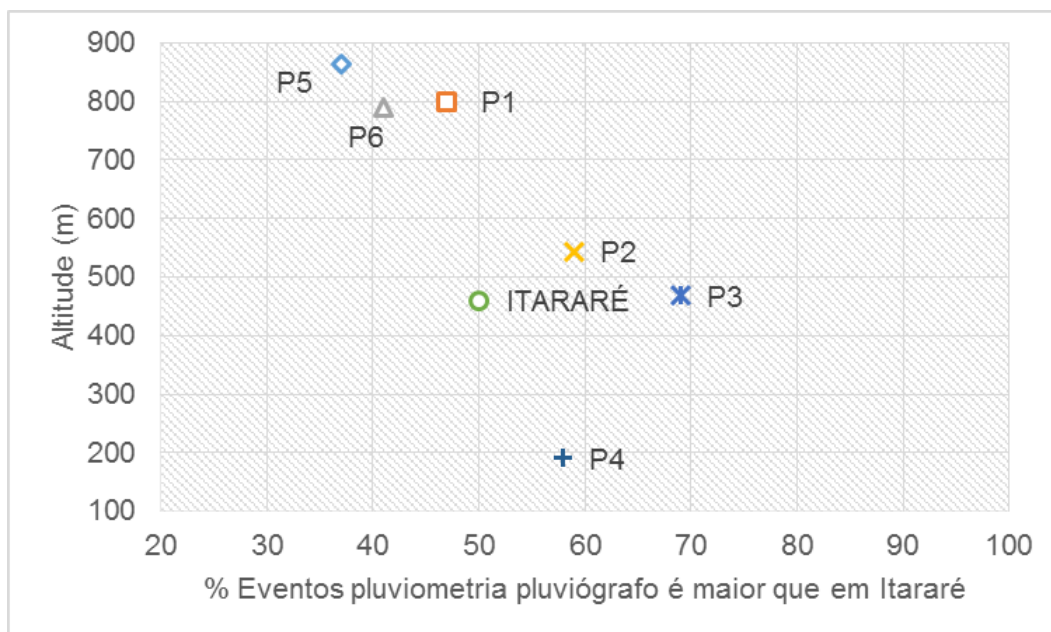


Figura 35 - Análise individual - maiores volumes precipitados em 24 horas com relação à estação de Itararé.

Em complemento a isso, uma análise global buscando comparar apenas os dias onde se possuía registro simultâneo nos 7 pluviógrafos foi realizada, estando os resultados apresentados na Tabela 11 e Figura 36.

Tabela 11 - Análise global - maiores volumes de chuvas em 24h.

Pluviógrafo	P4	Itararé	P3	P2	P6	P1	P5	Total
	38	21	32	29	19	19	23	181
Representatividade %	21	12	18	16	10	10	13	100

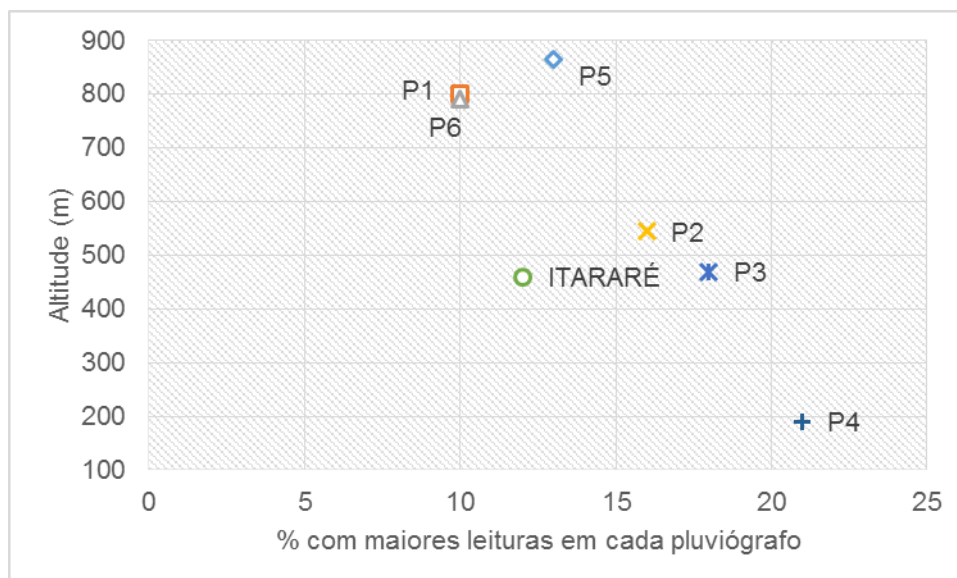


Figura 36 - Maiores volumes precipitados em 24horas: comparativo entre pluviômetros

De modo geral, é possível concluir que o pluviômetro de Itararé tende a registrar volumes de chuva superiores àqueles medidos nos equipamentos instalados na bacia de contribuição Norte (P1, P5 e P6) e inferiores aos medidos nas estações da bacia de contribuição Sul (P2, P3 e P4).

Cabe salientar ainda que, apesar da proximidade tanto em função da distância na rodovia (620 m) como com relação à altitude (9 m) foram observadas diferenças significativas entre as leituras do P3 e Itararé. Tal fato pode estar associado a incertezas e/ou falhas nos registros obtidos para o equipamento de Itararé (mais antigo, não automatizado).

5.3.1.2. Gerenciamento de riscos

Como parte do escopo desenvolvido nas etapas iniciais da presente pesquisa (Fase 1), propôs-se um limiar pluviométrico preliminar para a região da Serra do Mar da BR-376/PR, buscando-se relacionar registros de precipitação e o histórico disponível de deslizamentos. Tal ferramenta representa um importante instrumento para a gestão da operação rodoviária, uma vez que permite identificar a possibilidade futura de ocorrência de eventos críticos. O número de eventos (deslizamentos) nos quais se dispõe de um

registro pluviométrico assim como o volume de dados disponível (monitoramento do pluviógrafo de Itararé ao longo de 8 anos com falhas intermitentes) representam algumas limitações inerentes à sua aplicação. Contudo, a calibração contínua dos limites propostos, atentando-se à evolução dos processos naturais e antrópicos que podem reduzir ou aumentar valores de pluviometria crítica torna-se importante em um processo de gestão de riscos.

Com base no inventário de ocorrências de deslizamentos e na ampliação da série histórica dos registros pluviométricos alcançada na presente etapa da pesquisa (Fase 2), buscou-se aperfeiçoar os critérios de alerta e conseqüentemente os limiares pluviométricos pré-definidos a partir da análise de outras ferramentas de gerenciamento de riscos. Para tal, estudos desenvolvidos em âmbito nacional e internacional foram avaliados (e.g. Guidicini & Iwasa 1977, Kanji *et. al.* 1997 e D'Orsi 2010).

Nesta etapa, foram utilizados os eventos apresentados na Tabela 12. Na seqüência, buscou-se avaliar e identificar a área de influência específica de cada pluviógrafo conforme pode ser observado na Tabela 7. Tais limites foram definidos considerando a metade da distância real em quilômetros entre os pluviógrafos, respeitando as fronteiras entre bacias e diferenças de altitude e de modo a sobrepor sempre que possível um ou dois quilômetros buscando considerar uma margem de segurança em interpretações futuras.

Além disso, foram atribuídos códigos para identificação dos deslizamentos em seus respectivos limiares. As ocorrências nomeadas com letras correspondem aos registros pluviométricos de Itararé, e aquelas nomeadas com números representam pontos obtidos a partir do registro de cada pluviógrafo associado. Contudo, com base na *Tabela 13*, observa-se que as ocorrências com códigos alfabéticos são datadas antes de 2014 e aquelas com códigos numéricos são datadas após 2014.

Tabela 12 - Banco de dados com registro de deslizamento disponível

Código	Data da ocorrência	PNV (2009)	Pista
-	INÍCIO DA BACIA NORTE		
-	27/09/2009 a 29/09/2009	648+400	Norte
-	16/08/2009		Norte
1	19/02/2014	651+870	Norte
J, K	06/06/2012 e 07/06/2012	652+640	Sul
	P5 - 652+900		
C	07/06/2010	654+240	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	654+450	Sul
-	22/01/2010	654+550	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	654+750	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	655+600	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	657+050	Norte
8	25/11/2015	657+200	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	657+200	Norte
-	22/01/2010	657+380	Sul
A	22/02/2010	657+700	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	657+800	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	657+890	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	658+100	Sul
D	09/08/2010	658+100	Norte
10	01/08/2016	658+370	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	658+400	Sul
-	22/01/2010	658+400	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	658+830	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	659+270	Norte
7	20/11/2015	660+267	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	660+380	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	660+470	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	660+530	Sul
	P1 - 660+570		
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	660+570	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	660+570	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	660+600	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	661+140	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	661+150	Sul
	P6 - 662+000		
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	662+150	Sul
-	10/09/2009	662+500	Sul
2	17/03/2014	662+950	Sul
	LIMITE ENTRE BACIA NORTE E BACIA SUL		
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	663+970	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	664+910	Sul

-	20/11/2008 a 25/11/2008	664+930	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	665+000	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	665+250	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	665+390	Norte
J, K	06/06/2012 a 07/06/2012	666+300	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	666+500	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	666+550	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	667+000	Norte
-	20/11/2008 a 25/11/2008	667+010	Norte
-	20/11/2008 a 25/11/2008	667+030	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	667+120	Norte
E	06/12/2010	667+160	Norte
-	20/11/2008 a 25/11/2008	667+160	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	667+230	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	667+300	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	667+360	Norte
-	20/11/2008 a 25/11/2008	667+710	Sul
P2 - 667+900			
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	667+900	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	668+050	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	668+050	Sul
J, K	06/06/2012 a 07/06/2012	668+150	Norte
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	668+580	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	668+650	Norte
-	20/11/2008 a 25/11/2008	668+710	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	668+810	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	668+870	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	668+910	Sul
B	03/06/2010	668+950	Sul
4	12/03/2015	669+000	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	669+030	Sul
	20/11/2008 a 25/11/2008	669+070	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	669+120	Sul
P3 - 669+300			
-	20/11/2008 a 25/11/2008	669+400	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	669+600	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	669+610	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	669+790	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	669+920	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	669+950	Sul
ITARARÉ			
5	13/03/2015	670+280	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	670+790	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	670+950	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	671+150	Sul

-	20/11/2008 a 25/11/2008	671+200	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	672+150	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	672+260	Sul
F, G, H	11/03/2011 a 13/03/2011	672+260	Norte
I	08/12/2011	672+350	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	672+460	Norte
-	20/11/2008 a 25/11/2008	672+520	Sul
9	20/07/2016	672+757	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	675+350	Norte
-	20/11/2008 a 25/11/2008	675+580	Norte
-	20/11/2008 a 25/11/2008	675+760	Sul
6	30/10/2015	675+820	Norte
3	03/04/2014	675+830	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	676+530	Sul
P4 - 676+800			
-	20/11/2008 a 25/11/2008	677+000	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	677+270	Norte
-	20/11/2008 a 25/11/2008	679+100	Norte
-	20/11/2008 a 25/11/2008	679+600	Norte
FIM DA BACIA SUL			
-	20/11/2008 a 25/11/2008	681+150	Sul
-	20/11/2008 a 25/11/2008	681+150	Norte

Tabela 13–Datas de ocorrências relativas a cada pluviógrafo

ANO	CÓD.	km	P5 - 652+900	km	P1 – 660+570	km	P6 - 662+000	km	P2 - 667+900	km	P3 - 669+300	km	P4 - 676+800
2010 (*)	A			657+700	22/02/10								
	B							668+950	03/06/10	668+950	03/06/10		
	C	645+240	07/06/10										
	D			658+100	09/08/10								
	E							667+160	06/12/10				
2011 (*)	F	657+050	11/03/11	660+570	11/03/11	662+150	11/03/11	667+360	11/03/11	669+600	11/03/11	672+260	11/03/11
	G	657+050	12/03/11	660+570	12/03/11	662+150	12/03/11	667+360	12/03/11	669+600	12/03/11	672+260	12/03/11
	H	657+050	13/03/11	660+570	13/03/11	662+150	13/03/11	667+360	13/03/11	669+600	13/03/11	672+260	13/03/11
	I											672+350	08/12/11
2012 (*)	J	652+640	06/06/12					668+150	06/06/12	668+150	06/06/12		
	K	652+640	07/06/12					668+150	07/06/12	668+150	07/06/12		
2014	1	651+870	19/02/14 (**)										
	2					662+950	17/03/14 (**)						
	3											675+830	03/04/14
2015	4							669+000	12/03/15	669+000	12/03/15		
	5									670+280	13/03/15 (***)		
	6											675+820	30/10/15
	7			660+267	20/11/15								
	8			657+200	25/11/15								
2016	9											672+757	20/07/16
	10			658+100	01/08/16								

(*) Registros do pluviômetro de Itararé.

(**) Os pluviógrafos P5 e P6 possuem registro a partir de setembro de 2014.

(***) Falha de registro a partir do dia 13/03/2015 no pluviógrafo P3.

Com base na área de influência de cada pluviógrafo e nos movimentos de massa a eles associados, partiu-se para a delimitação de limiares pluviométricos específicos para cada equipamento. Para tal, buscou-se inicialmente aperfeiçoar o limiar pluviométrico proposto na etapa inicial (Fase 1) da pesquisa Projeto 4 (ALS, 2015). Nele, os escorregamentos pretéritos registrados foram correlacionados com seus eventos pluviométricos correspondentes. As análises foram balizadas com o limiar pluviométrico global empírico proposto por Kanji *et al.* (1997), conforme pode ser observado na Figura 37.

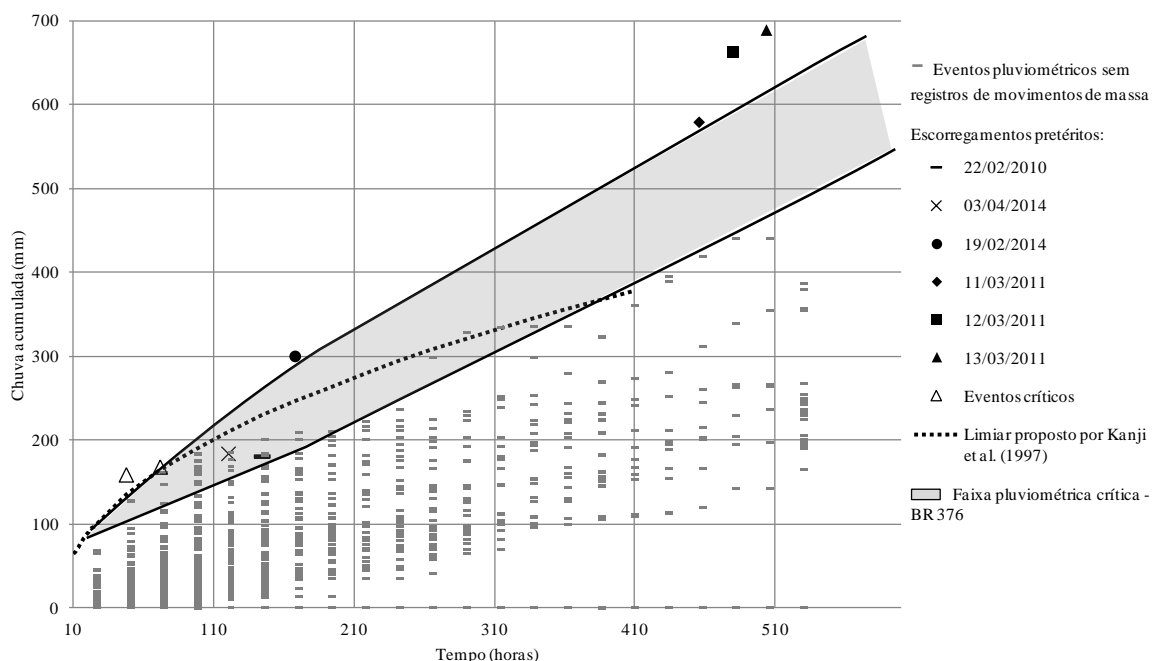


Figura 37 - Limiar pluviométrico proposto na etapa inicial da pesquisa

Cabe salientar que a utilização dessa ferramenta para previsão de ocorrência de movimentos de massa requer o entendimento da intensidade de chuva que deflagrou os mesmos, o que evidencia a importância de se dispor de séries históricas de dados. Na área selecionada, assim como no Brasil em geral, informações detalhadas sobre a distribuição espacial dos movimentos de massa e de chuvas são escassas e representam limitações à aplicação dos mesmos.

Com o intuito de aperfeiçoar essa ferramenta desenvolvida para gestão de riscos geotécnicos ao longo do estudo, foram definidos quatro diferentes cenários de precipitação pluviométrica utilizados para definição de parâmetros de controle ou “critérios de alerta”.

Dadas as características de distribuição espacial das chuvas na região e incertezas relacionadas aos dados históricos disponíveis (utilização de dados apenas da estação Itararé), optou-se por definir faixas para os limites de precipitação críticos (Figura 38).

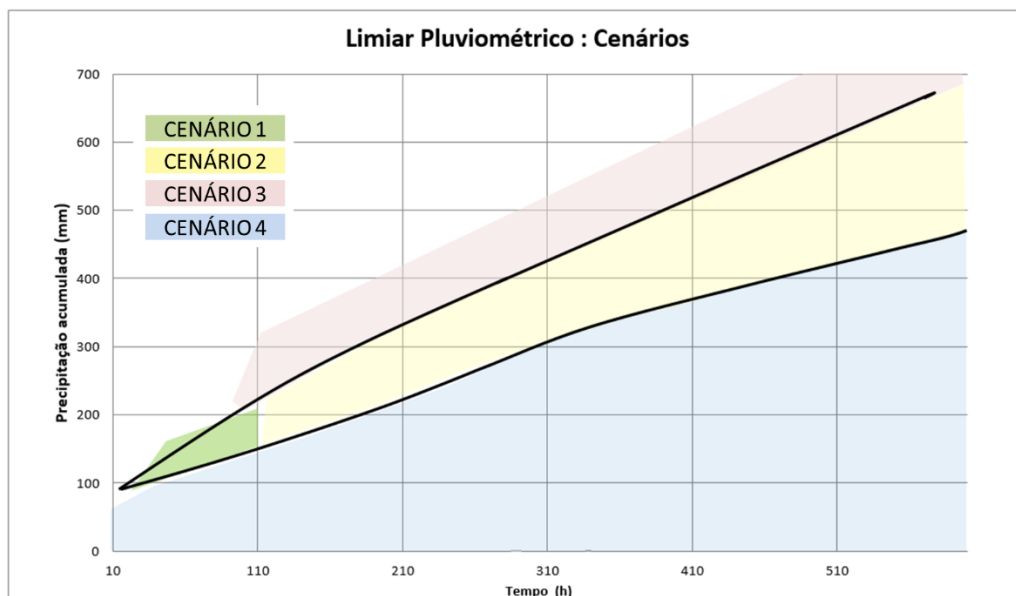


Figura 38 - Cenários obtidos a partir do limiar pluviométrico apresentado na etapa preliminar da pesquisa (Fase 1)

O limite inferior (Cenário 4) representa a fronteira entre os volumes de chuva que não tendem a provocar escorregamentos e aqueles com maior probabilidade de deflagrar movimentos de massa. O Cenário 3 representa a ocorrência de eventos cataclísmicos como os registrados em 2008 e 2011, estando associados a precipitações de pelo menos 340/400 mm, com duração variando entre 4 e 9 dias e distribuídas ao longo de toda a rodovia. Por fim, os Cenários 1 e 2 representam uma região que podem refletir em processos de instabilização em pontos específicos e diferenciam-se de acordo com a duração dos eventos. É importante salientar que esses

cenários foram obtidos com base no histórico de dados disponível que, conforme já descrito, envolve uma série de incertezas.

Com base nesse contexto, interpretações individuais a partir da série histórica de cada pluviógrafo e dos deslizamentos registrados dentro da área de influência inicialmente definida foram desenvolvidas. Na sequência, uma síntese dessas análises será apresentada.

- Pluviógrafo P3

Com relação à área de influência definida para o pluviógrafo P3, compreendida entre os km 668+000 e km 672+000, tem-se o registro de 25 ocorrências (*Tabela 14*), das quais 7 podem ser utilizadas na delimitação do limiar pluviométrico.

Tabela 14 - Registros de ocorrências na área de influência do pluviógrafo P3.

Código	Data	Quantidade	Observações
	20/11/2008 a 25/11/2008	10	Sem registro pluviométrico
B	03/06/2010	1	Registro pluviométrico de Itararé
F	11/03/2011	11	Registro pluviométrico de Itararé
G	12/03/2011		
H	13/03/2011		
J	06/06/2012	1	Registro pluviométrico de Itararé
K	07/06/2012		
4	12/03/2015	2	Registro pluviométrico de P3
5	13/03/2015		Falha no registro de P3

Na Figura 39, o limiar pluviométrico proposto na etapa inicial da pesquisa e aperfeiçoado ao longo do desenvolvimento desta etapa é apresentado.

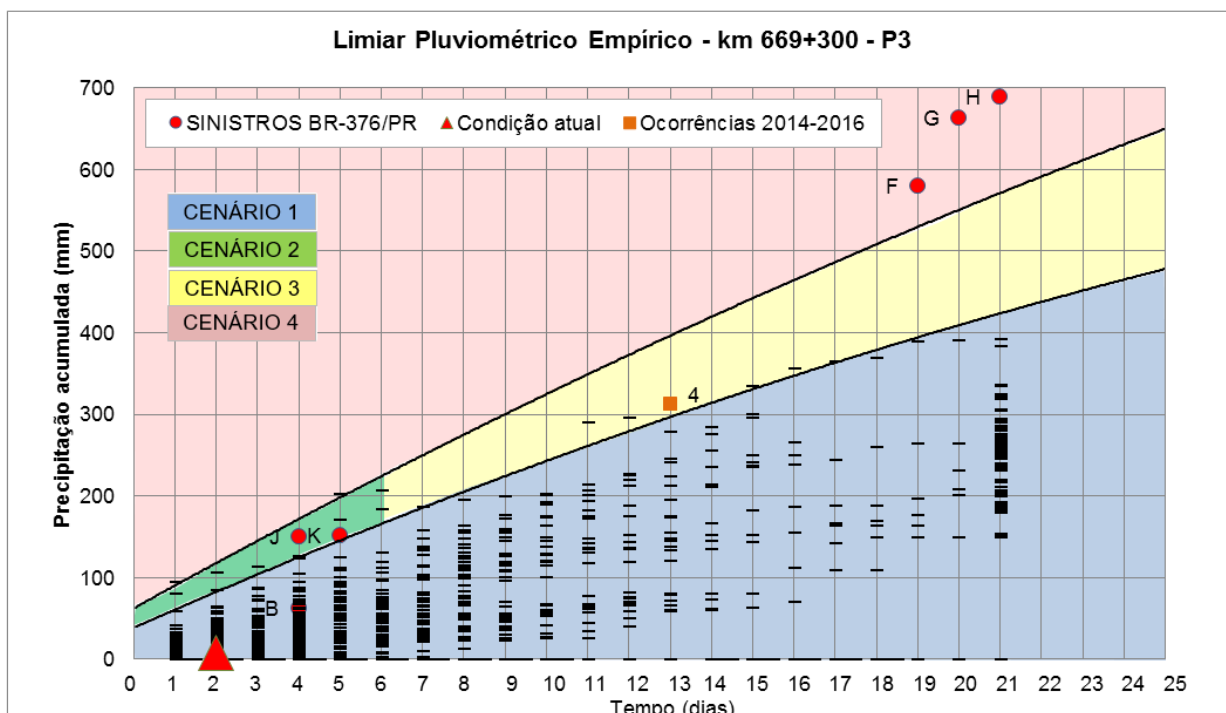


Figura 39 - Limiar pluviométrico atualizado relativo a P3

Os limites que compõem o limiar da Figura 39 podem ser definidos por polinômios, cujas equações estão indicadas na Tabela 15:

Tabela 15 - Equações dos limites superior e inferior do limiar crítico de P3.

Limite	Equação
Superior	$y = -0,0003x^2 + 1,1684x + 62,725$
Inferior	$y = -0,0003x^2 + 0,9304x + 38,821$

Onde:

x = tempo (em horas)

y = precipitação acumulada (em milímetros)

Com base nessas informações e de modo a complementar o entendimento gerado a partir dessa ferramenta, foram avaliadas correlações entre eventos pluviométricos com e sem a ocorrência de deslizamentos para volumes de chuva acumulados com duração variando entre 1 e 30 dias (24 e 720 horas). Com base em um tratamento estatístico e em técnicas de análise exploratória de dados de diagrama de pontos concluiu-se que, para o pluviógrafo P3, correlações considerando a

precipitação acumulada em 24 horas em função do volume acumulado em 168 horas (7 dias) é a que melhor representa o comportamento da região (Figura 40).

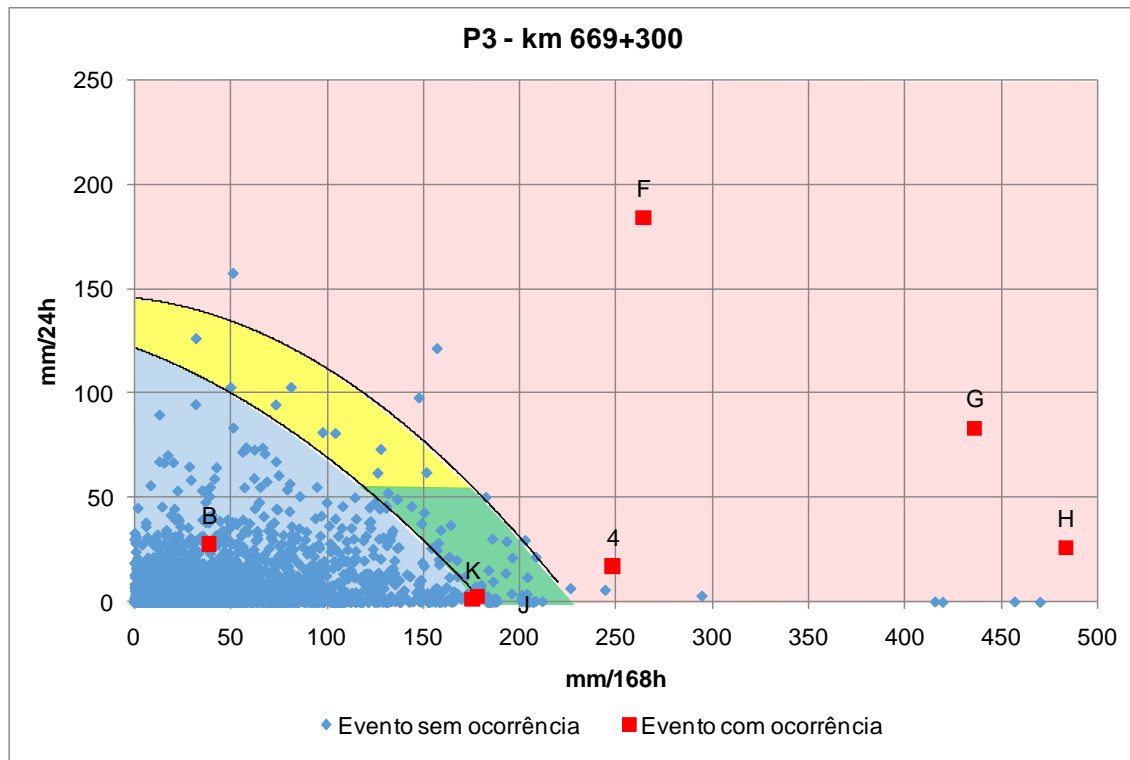


Figura 40 - Correlação mm/168h x mm/24h para pluviômetro P3.

Os polinômios que definem o limiar apresentado na Figura 40 podem ser definidos por polinômios, cujas equações estão indicadas na Tabela 16:

Tabela 16 - Equações dos limites superior e inferior do limiar crítico de P3.

Limite	Equação
Superior	$y = -0,0024x^2 - 0,1022x + 145,58$
Inferior	$y = -0,0018x^2 - 0,3458x + 122,26$

Onde:

x = precipitação acumulada em 7 dias ou 168h

y = precipitação acumulada em 1 dia ou 24h

Dentre todos os registros considerados para a elaboração do gráfico representado na Figura 40, menos de 5% dos dias de chuva sem registro de

deslizamento encontram-se nos cenários considerados críticos (verde, amarelo e vermelho). Em relação ao Cenário 4 (vermelho), apenas 0,5% dos dias sem ocorrência encontram-se nesse patamar, confirmando a potencial aplicabilidade da metodologia proposta.

Em complemento a isso, cabe salientar que o único evento com ocorrência de deslizamento que se encontra abaixo do limite mínimo estabelecido é a ocorrência nomeada como “B”. Tal comportamento pode estar associado a divergências na leitura do pluviógrafo de Itararé que, conforme descrito nos itens precedentes, apresentou registros de chuva inferiores àqueles medidos em P3 em 69% dos eventos avaliados. Ressalta-se que a ferramenta apresentada na Figura 40 é complementar ao limiar pluviométrico existente (Figura 39).

- Pluviógrafo P2

Na área de contribuição do pluviógrafo P2, compreendida entre os km 663+000 e km 669+000, tem-se um total de 31 registros de deslizamento dos quais 7 podem ser utilizados na delimitação do limiar pluviométrico (Tabela 17).

Tabela 17 - Registros de ocorrências na área de influência do pluviógrafo P2.

Código	Data	Quantidade	Observações
-	20/11/2008 a 25/11/2008	8	Sem registro pluviométrico
B	03/06/2010	1	Registro pluviométrico de Itararé
E	06/12/2010	1	Registro pluviométrico de Itararé
F	11/03/2011	18	Registro pluviométrico de Itararé
G	12/03/2011		
H	13/03/2011		
J	06/06/2012	2	Registro pluviométrico de Itararé
K	07/06/2012		
4	12/03/2015	1	Registro pluviométrico de P2

Assim como realizado para P3, inicialmente o limiar pluviométrico preliminar foi aperfeiçoado incluindo-se apenas os registros de P2 e os deslizamentos contidos dentro da sua área de influência (Figura 41).

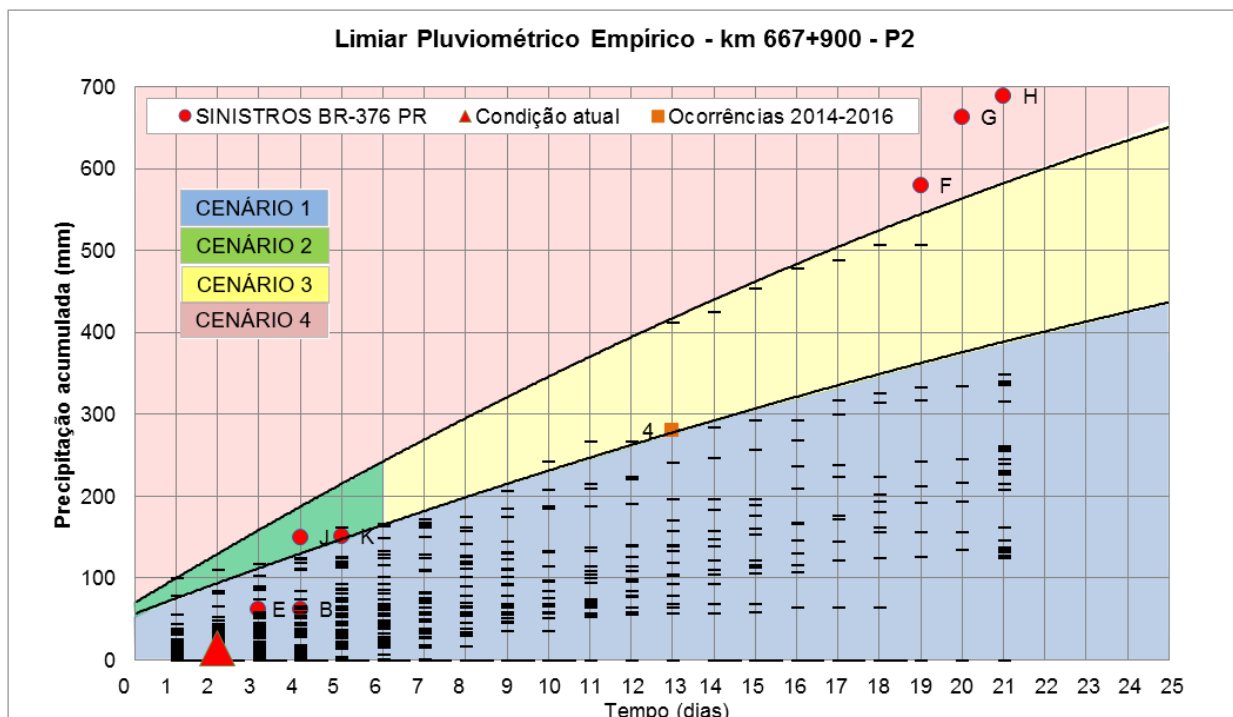


Figura 41 - Limiar crítico para o pluviógrafo P2.

Os limites que compõem o limiar da Figura 41 podem ser definidos por polinômios, cujas equações estão indicadas na Tabela 18:

Tabela 18 - Equações dos limites superior e inferior do limiar crítico de P2.

Limite	Equação
Superior	$y = -0,0005x^2 + 1,2716x + 69,954$
Inferior	$y = -0,0003x^2 + 0,7901x + 56,642$

Onde:

x = tempo (em horas)

y = precipitação acumulada (em milímetros)

Assim como nas análises realizadas para P3, para a área de P2 a melhor correlação encontrada para esse equipamento foi mm/24h x mm/168h, ou seja,

considerando a precipitação diária registrada em função de um acumulado 7 dias anteriores à data da ocorrência.

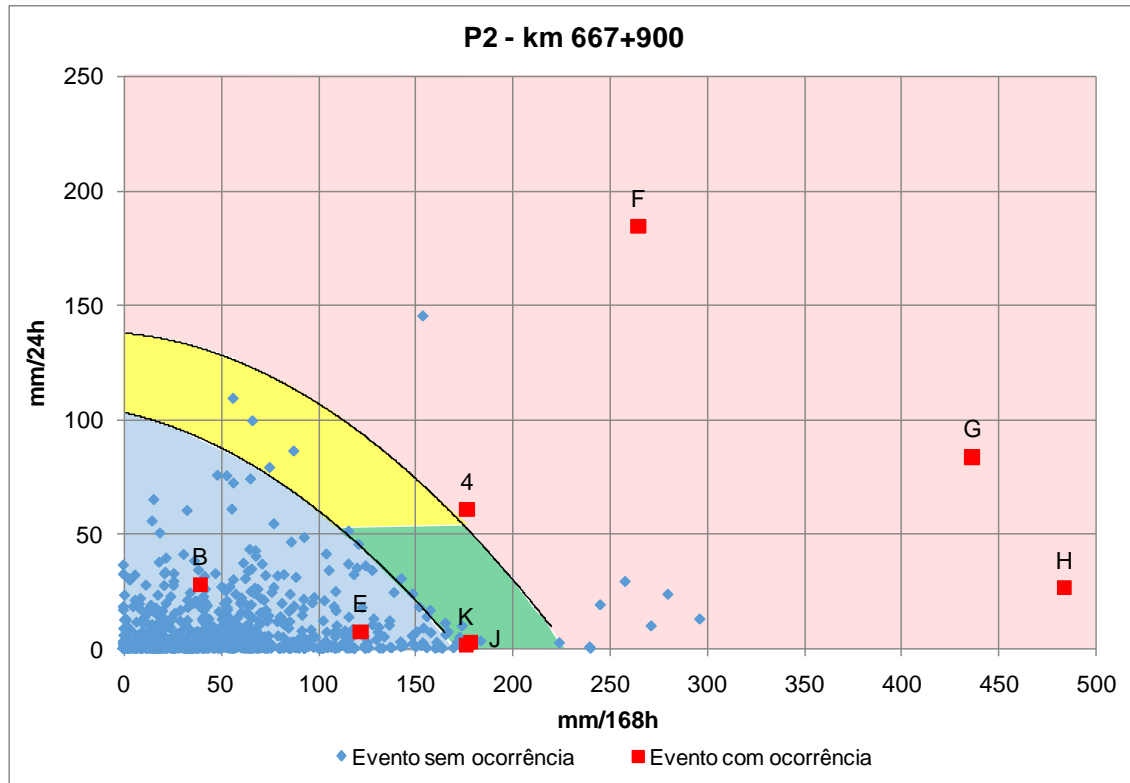


Figura 42 - Correlação mm/24h x mm/168h para pluviômetro P2.

Os polinômios que definem o limiar apresentado na Figura 42 podem ser definidos por polinômios, cujas equações estão indicadas na Tabela 19:

Tabela 19 - Equações dos limites superior e inferior do limiar crítico de P2.

Limite	Equação
Superior	$y = -0,0023x^2 - 0,078x + 137,99$
Inferior	$y = -0,0024x^2 - 0,1936x + 103,35$

Onde:

x = precipitação acumulada em 7 dias ou 168h

y = precipitação acumulada em 1 dia ou 24h

Na região do P2, apenas uma ocorrência foi mapeada com registro do próprio pluviógrafo P2 (código 4 com data de 12/03/2015), evento este também utilizado no nas análises de P3 por estar localizado na área de influência de ambos. Os eventos “B” e “E”, datados respectivamente de 03/06/2010 e 06/12/2010, apresentam-se abaixo do limite crítico, mas foram plotados a partir de registros pluviométricos de Itararé e, conforme descrito em itens precedentes, tal equipamento tende a apresentar registros inferiores aos medidos pelo P2.

Cabe salientar ainda que, assim como na análise apresentada para o P3, a margem de erro obtida com a aplicação dessa ferramenta se encontra abaixo de 5% quando comparado ao total de dados considerado e, quando se considera apenas o Cenário 4, esse valor é apenas 0,8% do total.

- Pluviógrafo P4

Na área de contribuição do pluviógrafo P4, compreendida entre os km 671+000 e km 680+000, tem-se o registro de 5 ocorrências (Tabela 20) que podem ser utilizadas na delimitação do limiar pluviométrico.

Tabela 20 - Registros de ocorrências na área de influência do pluviógrafo P4.

Código	Data	Quantidade	Observações
-	20/11/2008 a 25/11/2008	14	Sem registro pluviométrico
F	11/03/2011	1	Registro pluviométrico de Itararé
G	12/03/2011		
H	13/03/2011		
I	08/12/2011	1	Registro pluviométrico de Itararé
3	03/04/2014	1	Registro pluviométrico de P4
6	30/10/2015	1	Registro pluviométrico de P4
9	20/07/2016	1	Registro pluviométrico de P4

Assim como nos equipamentos anteriores, inicialmente o limiar pluviométrico preliminar foi aperfeiçoado incluindo apenas os registros de P4 e os deslizamentos contidos dentro da sua área de influência (Figura 43).

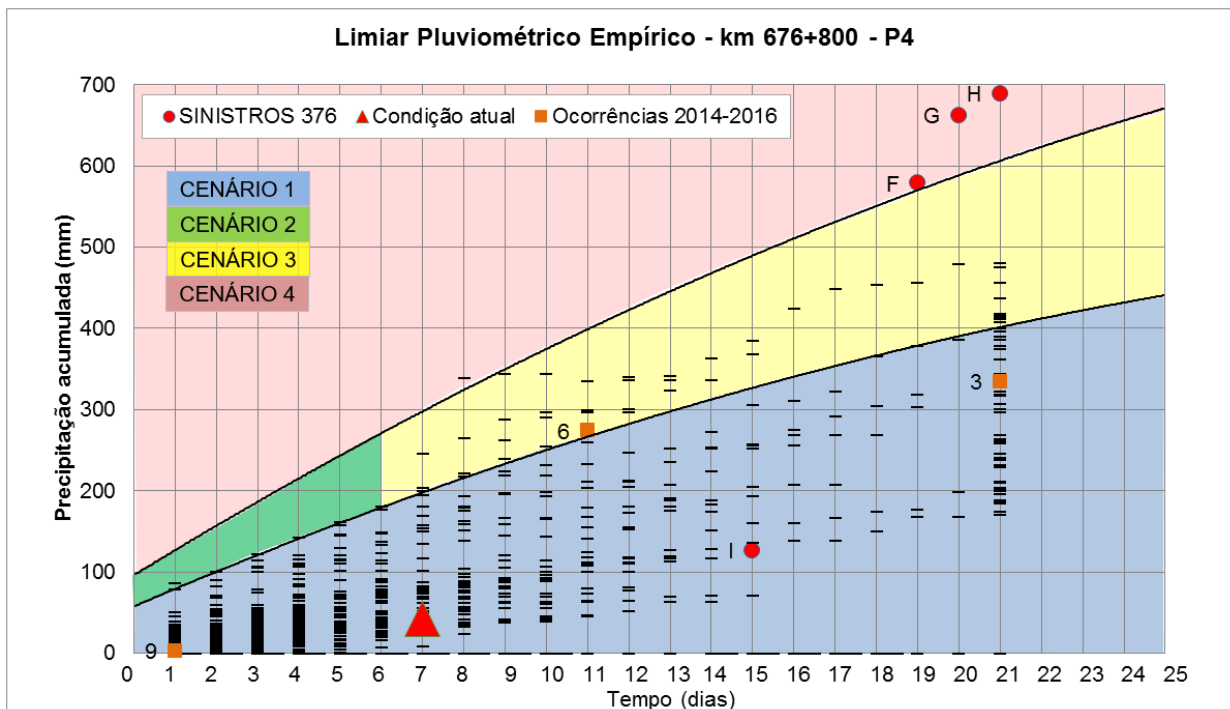


Figura 43 - Limiar crítico para o pluviógrafo P4.

Os limites que compõem o limiar acima (Figura 43) podem ser definidos por polinômios, cujas equações estão indicadas na Tabela 21:

Tabela 21 - Equações dos limites superior e inferior do limiar crítico de P4.

Limite	Equação
Superior	$y = -0,0006x^2 + 1,2956x + 96,13$
Inferior	$y = -0,0005x^2 + 0,911x + 57,715$

Onde:

x = tempo (em horas)

y = precipitação acumulada (em milímetros)

Nota-se que os eventos “9” e “3” apresentam-se abaixo do limite crítico no limiar proposto. Cabe salientar que a região do P4 representa o local com os maiores

volumes de chuva acumulados e encostas de menores declividades por estar em uma área mais próxima ao nível do mar, situada no pé da Serra do Mar. Contudo, é possível que a ocorrência de deslizamentos nessa área esteja associada a acumulados de chuvas acima daqueles definidos para os equipamentos instalados em cotas superiores. Processos de infiltração de água por longos períodos de tempo também podem influenciar o comportamento das encostas nessa região.

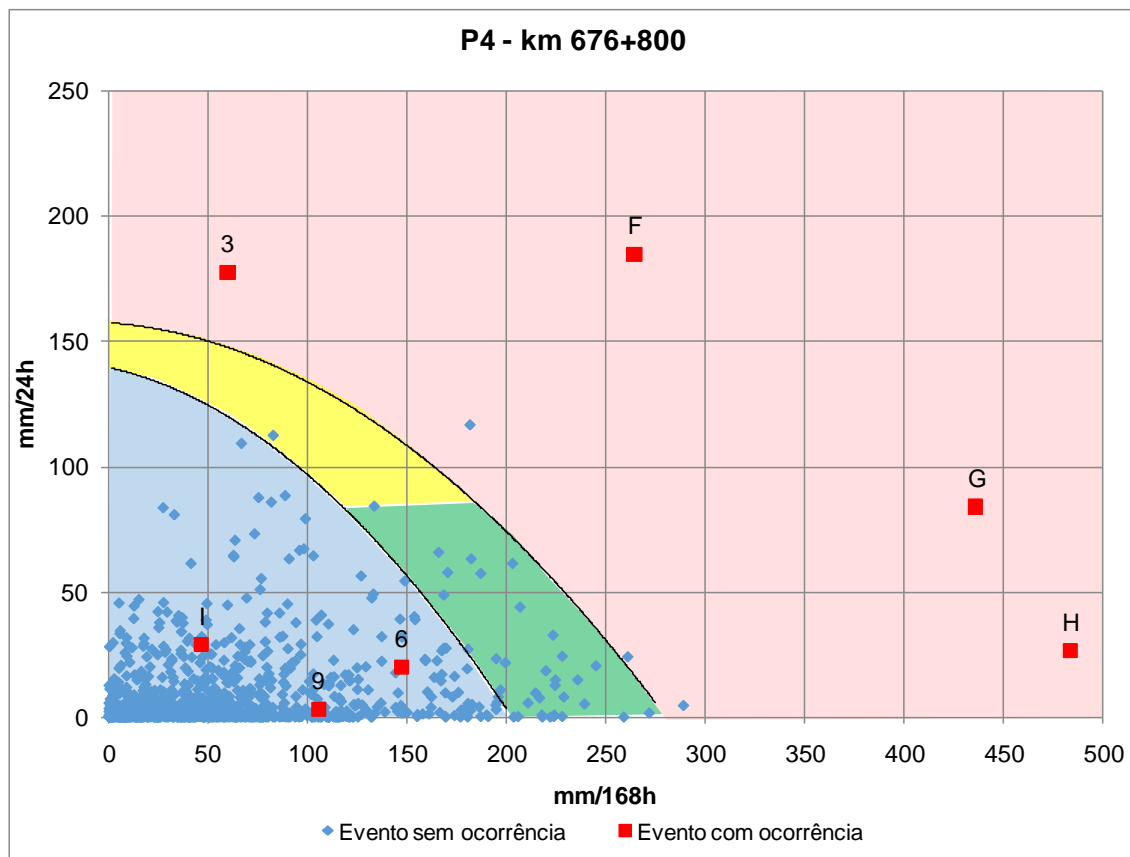


Figura 44 - Correlação mm/24h x mm/72h para pluviômetro P4.

Os polinômios que definem o limiar apresentado na Figura 44 podem ser definidos por polinômios, cujas equações estão indicadas na Tabela 22:

Tabela 22 - Equações dos limites superior e inferior do limiar crítico de P4.

Limite	Equação
Superior	$y = -0,0018x^2 - 0,0584x + 157,2$
Inferior	$y = -0,0025x^2 - 0,1773x + 139,31$

Onde:

x = precipitação acumulada em 7 dias ou 168h

y = precipitação acumulada em 1 dia ou 24h

- Pluviógrafo P1

Na área de contribuição do pluviógrafo P1, compreendida entre os km 656+000 e km 661+000, tem-se o registro de 27 ocorrências (Tabela 23) das quais 8 podem ser utilizadas na delimitação do limiar pluviométrico.

Tabela 23 - Registros de ocorrências na área de influência do pluviógrafo P1.

Código	Data	Quantidade	Observações
-	20/11/2008 a 25/11/2008	10	Sem registro pluviométrico
-	22/01/2010	2	Sem registro pluviométrico
A	22/02/2010	1	Registro pluviométrico de Itararé
D	09/08/2010	1	Registro pluviométrico de Itararé
F	11/03/2011	10	Registro pluviométrico de Itararé
G	12/03/2011		
H	13/03/2011		
7	20/11/2015	1	Registro pluviométrico de P1
8	25/11/2015	1	Registro pluviométrico de P1
10	01/08/2016	1	Registro pluviométrico de P1

Na Figura 45, o limiar pluviométrico preliminar foi aperfeiçoado incluindo apenas os registros de P1 e os deslizamentos contidos dentro da sua área de influência.

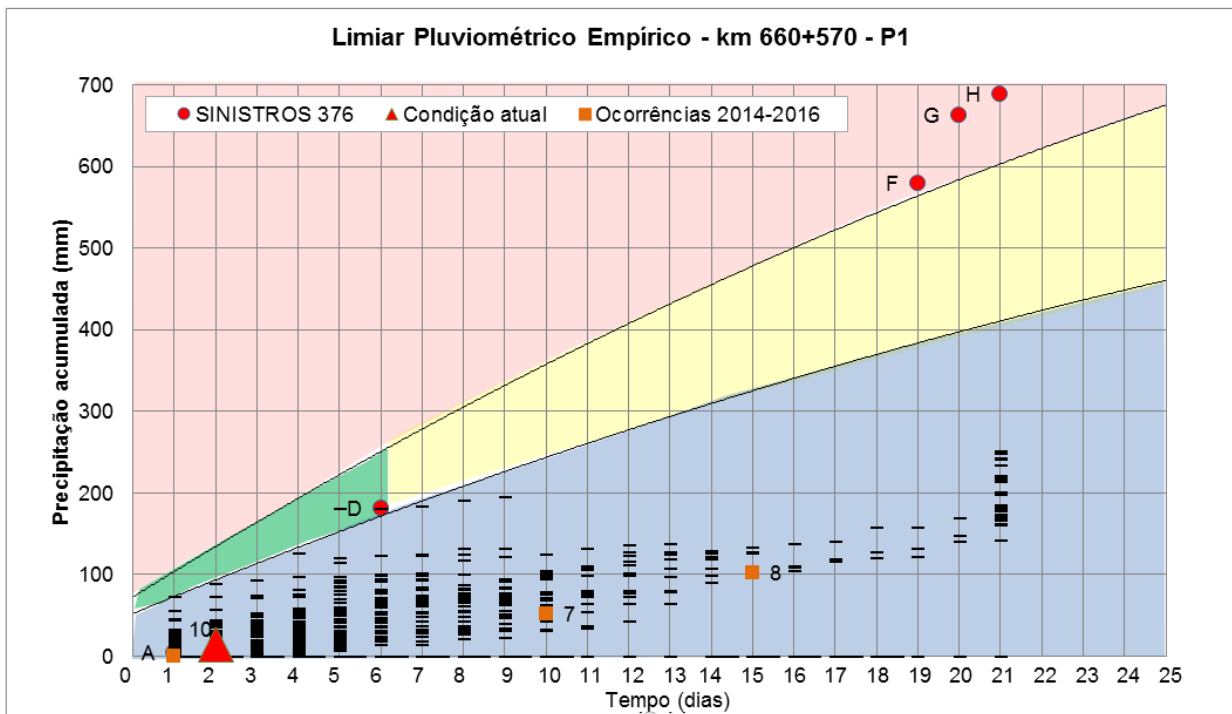


Figura 45 - Limiar pluviométrico atualizado relativo a P1

Os limites que compõem o limiar da Figura 45 podem ser definidos por polinômios, cujas equações estão indicadas na Tabela 24:

Tabela 24 - Equações dos limites superior e inferior do limiar crítico de P1.

Limite	Equação
Superior	$y = -0,0005x^2 + 1,3092x + 72,664$
Inferior	$y = -0,0003x^2 + 0,8751x + 52,266$

Onde:

x = tempo (em horas)

y = precipitação acumulada (em milímetros)

Da mesma forma como descrito anteriormente, foram avaliadas correlações entre eventos pluviométricos com e sem a ocorrência de deslizamentos para volumes de chuva acumulados com duração variando entre 1 e 30 dias (24 e 720 horas). Contudo, concluiu-se que para o pluviógrafo P1 a análise considerando a precipitação acumulada em 72 horas em função do volume acumulado em 720 horas (30 dias) é a que melhor representa o comportamento da região (Figura 46).

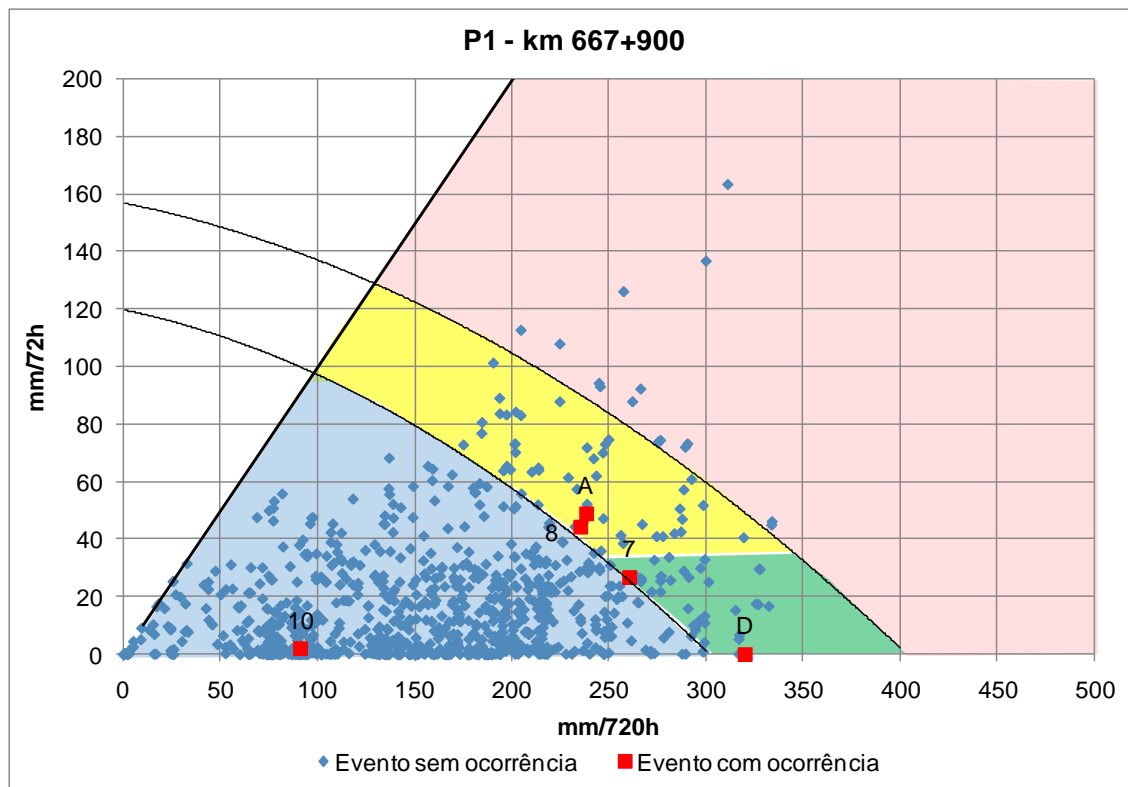


Figura 46 - Correlação mm/720h x mm/72h para pluviógrafo P1.

Os polinômios que definem o limiar apresentado na Figura 46 podem ser definidos por polinômios, cujas equações estão indicadas na Tabela 25:

Tabela 25 - Equações dos limites superior e inferior do limiar crítico de P1.

Limite	Equação
Superior	$y = -0,0006x^2 - 0,1351x + 157,14$
Inferior	$y = -0,0008x^2 - 0,1405x + 119,81$

Onde:

x = precipitação acumulada em 30 dias ou 720h

y = precipitação acumulada em 3 dias ou 72h

Dentre todos os registros considerados para a elaboração do gráfico representado na Figura 46, apenas 9% dos dias de chuva sem registro de deslizamento encontram-se nos cenários considerados críticos (verde, amarelo e vermelho). Em relação ao Cenário 4 (vermelho), apenas 1% dos dias sem ocorrência

encontram-se nesse patamar. Como observado nos demais casos, confirma-se a aplicabilidade da metodologia para a série histórica disponível até o momento.

Cabe salientar a ocorrência de um evento de deslizamento que se encontra abaixo do limite mínimo estabelecido nomeado como “B”. Tal comportamento pode estar associado a divergências entre o regime pluviométrico distinto característico entre as áreas do P4 e de Itararé. Conforme descrito nos itens precedentes, uma análise comparativa entre períodos de registro simultâneo de leituras desses equipamentos mostrou que em 58% dos eventos o volume precipitado em Itararé era inferior ao registrado no P4.

Por fim, ressalta-se que, para esse equipamento, ao se plotar as informações considerando os eventos registrados em 24 horas em função do acumulado em 168 horas (7 dias), não é possível observar uma correlação desejável com os eventos de deslizamento disponíveis até o momento. Porém, ao menos até que dados históricos mais abrangentes se tornem disponíveis, recomenda-se a utilização do gráfico que correlaciona a precipitação acumulada em 3 e 30 dias como ferramenta complementar ao limiar proposto inicialmente.

- Pluviógrafo P5

Na área de contribuição do pluviógrafo P5, compreendida entre os km 644+000 e km 657+000, tem-se o registro de 10 ocorrências (Tabela 26), das quais 3 podem ser utilizadas na delimitação do limiar pluviométrico.

Tabela 26 - Registros de ocorrências na área de influência do pluviógrafo P5.

Código	Data	Quantidade	Observações
-	20/11/2008 a 25/11/2008	3	Sem registro pluviométrico
-	16/08/2009	1	Sem registro pluviométrico
-	27/09/2009 a 29/09/2009	1	Sem registro pluviométrico
-	22/01/2010	1	Sem registro pluviométrico
C	07/06/2010	1	Registro pluviométrico de Itararé
F	11/03/2011	1	Registro pluviométrico de Itararé
G	12/03/2011		
H	13/03/2011		
J	06/06/2012	1	Registro pluviométrico de Itararé
K	07/06/2012		
1	19/02/2014	1	Sem registro pluviométrico de P5

Na Figura 47, o limiar pluviométrico preliminar foi aperfeiçoado incluindo apenas os registros de P5 e os deslizamentos contidos dentro da sua área de influência. Verifica-se que para essa estação não foram registrados deslizamentos após o início do monitoramento próprio.

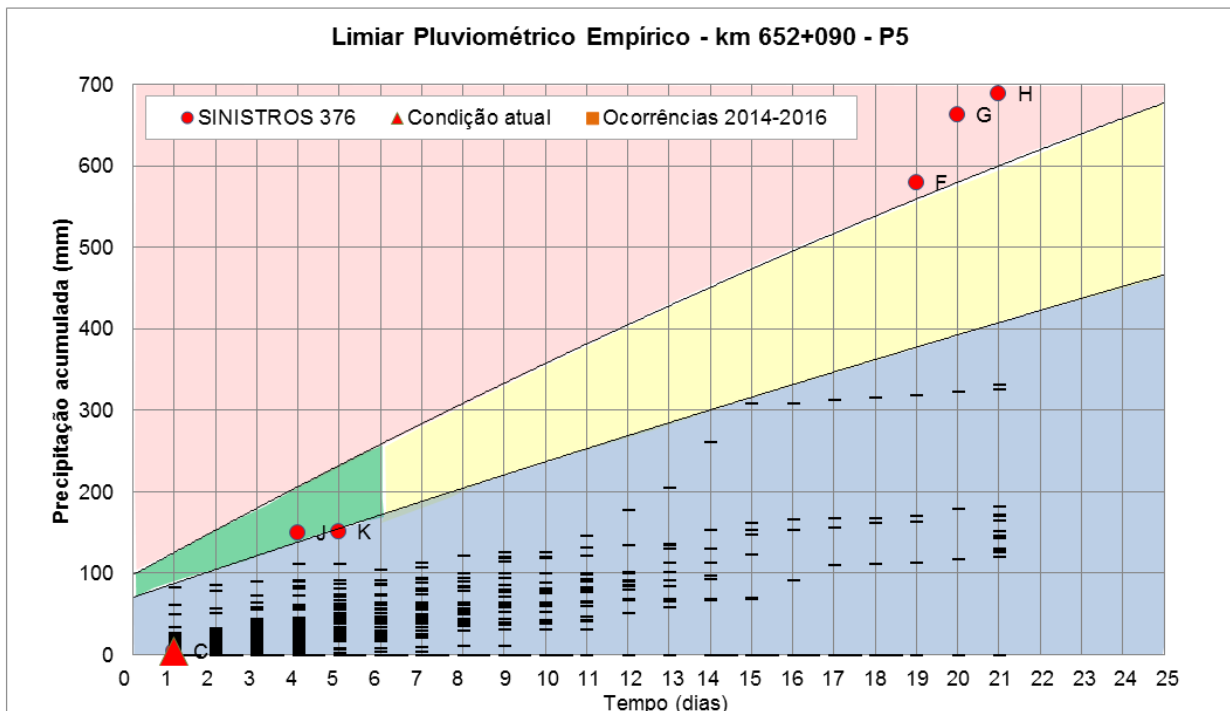


Figura 47 - Limiar pluviométrico atualizado relativo a P5

Os limites que compõem o limiar da Figura 47 podem ser definidos por polinômios, cujas equações estão indicadas na Tabela 27:

Tabela 27 - Equações dos limites superior e inferior do limiar crítico de P5.

Limite	Equação
Superior	$y = -0,0003x^2 + 1,1592x + 97,851$
Inferior	$y = -9E-05x^2 + 0,7158x + 70,338$

Onde:

x = tempo (em horas)

y = precipitação acumulada (em milímetros)

Com base nessas informações e de modo a complementar o entendimento gerado a partir dessa ferramenta e assim como realizado para os demais equipamentos, foram avaliadas correlações entre eventos pluviométricos com e sem a ocorrência de deslizamentos para volumes de chuva acumulados com duração variando entre 1 e 30 dias (24 e 720 horas). Contudo, concluiu-se que para o pluviógrafo P5 a análise considerando a precipitação acumulada em 72 horas (3 dias)

em função do volume acumulado em 720 horas (30 dias) é a que melhor representa o comportamento da região (Figura 48).

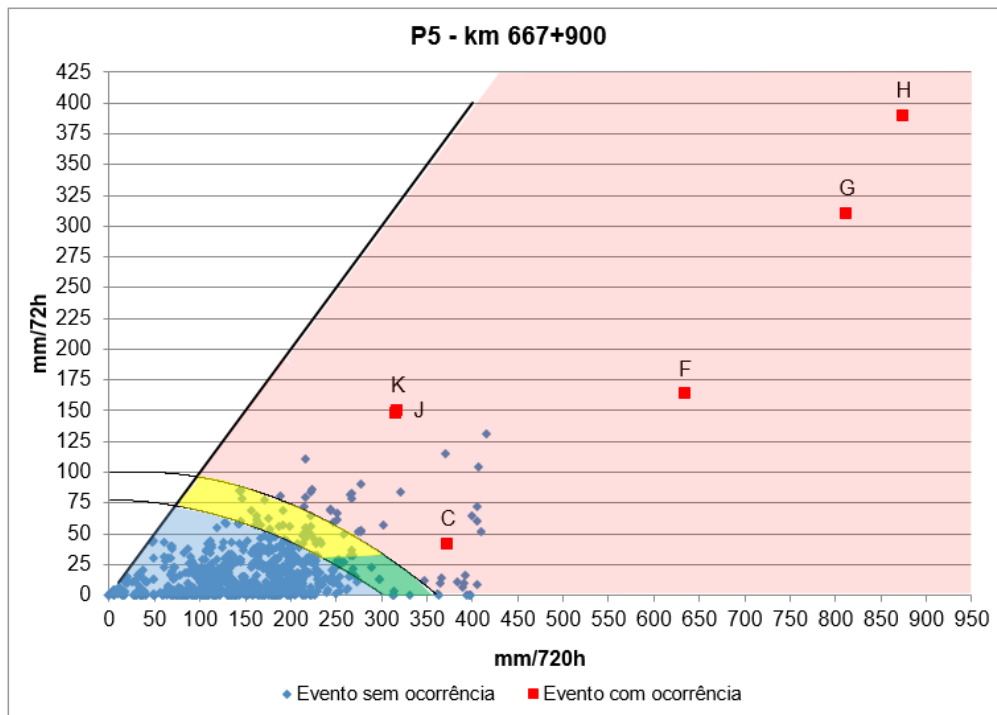


Figura 48 - Correlação mm/72h x mm/720h para pluviômetro P5.

Os polinômios que definem o limiar apresentado na Figura 48 podem ser definidos por polinômios, cujas equações estão indicadas na Tabela 28:

Tabela 28 - Equações dos limites superior e inferior do limiar crítico de P5.

Limite	Equação
Superior	$y = -0,0009x^2 + 0,0549x + 99,542$
Inferior	$y = -0,0008x^2 - 0,0062x + 77,602$

Onde:

x = precipitação acumulada em 30 dias ou 720h

y = precipitação acumulada em 3 dias ou 72h

Dentre todos os registros considerados para a elaboração do gráfico representado na Figura 48, apenas 11% dos dias de chuva sem registro de deslizamento encontram-se nos cenários considerados críticos (verde, amarelo e vermelho). Em relação ao Cenário 4 (vermelho), 5% dos dias sem ocorrência

encontram-se nesse patamar, confirmando a aplicabilidade da metodologia proposta para a série histórica de dados disponíveis.

- Pluviógrafo P6

Na área de contribuição do pluviógrafo P6, compreendida entre os km 661+000 e km 663+000, tem-se o registro de 5 ocorrências (Tabela 29) das quais 3 podem ser utilizadas na delimitação do limiar pluviométrico.

Tabela 29 - Registros de ocorrências na área de influência do pluviógrafo P6.

Código	Data	Quantidade	Observações
-	10/09/2009	1	Sem registro pluviométrico
F	11/03/2011	3	Registro pluviométrico de Itararé
G	12/03/2011		
H	13/03/2011		
2	17/03/2014	1	Sem registro pluviométrico de P6

Na Figura 49, o limiar pluviométrico preliminar foi aperfeiçoado incluindo apenas os registros de P6 e os deslizamentos contidos dentro da sua área de influência. Verifica-se que assim como para P5, para essa estação não foram registrados deslizamentos após o início do monitoramento próprio.

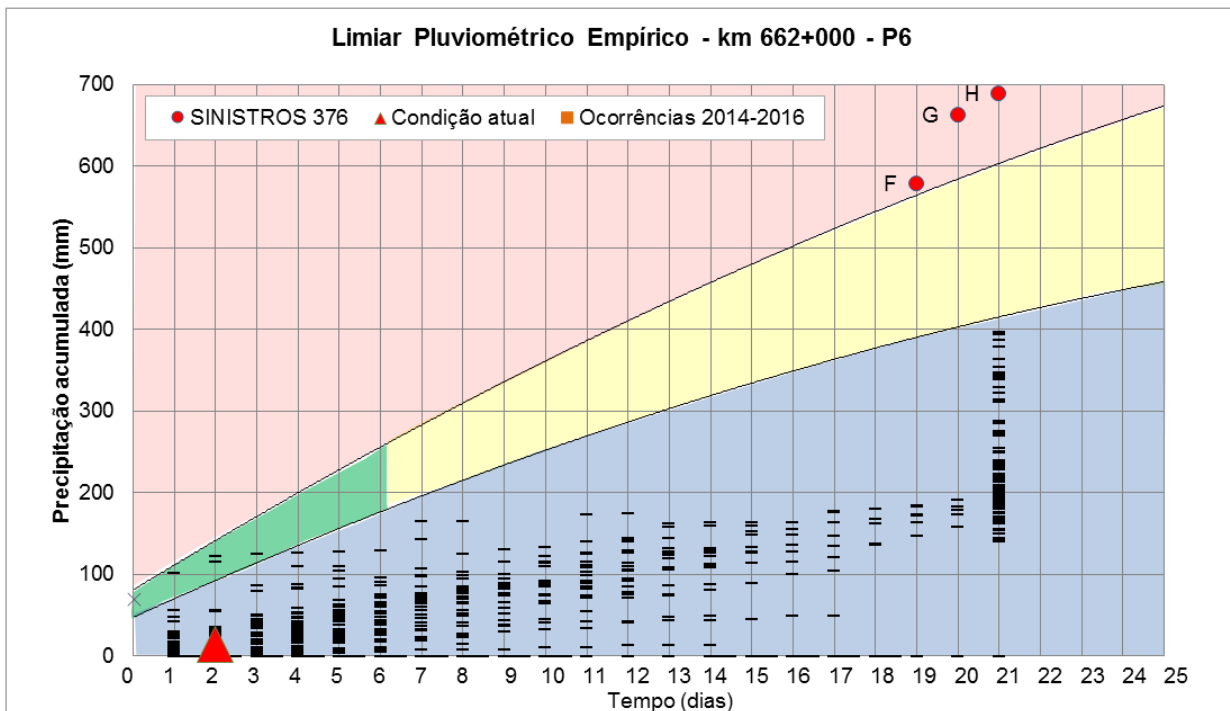


Figura 49 - Limiar pluviométrico atualizado relativo a P6

Os limites que compõem o limiar da Figura 49 podem ser definidos por polinômios, cujas equações estão indicadas na Tabela 30:

Tabela 30 - Equações dos limites superior e inferior do limiar crítico de P6.

Limite	Equação
Superior	$y = -0,0005x^2 + 1,2899x + 80,805$
Inferior	$y = -0,0005x^2 + 0,9644x + 47,357$

Onde:

x = tempo (em horas)

y = precipitação acumulada (em milímetros)

Com base nessas informações e de modo a complementar o entendimento gerado a partir dessa ferramenta e assim como realizado para os demais equipamentos, foram avaliadas correlações entre eventos pluviométricos com e sem a ocorrência de deslizamentos para volumes de chuva acumulados com duração variando entre 1 e 30 dias (24 e 720 horas). Contudo, concluiu-se que para o pluviógrafo P5 a análise considerando a precipitação acumulada em 72 horas (3 dias)

em função do volume acumulado em 720 horas (30 dias) é a que melhor representa o comportamento da região (Figura 50).

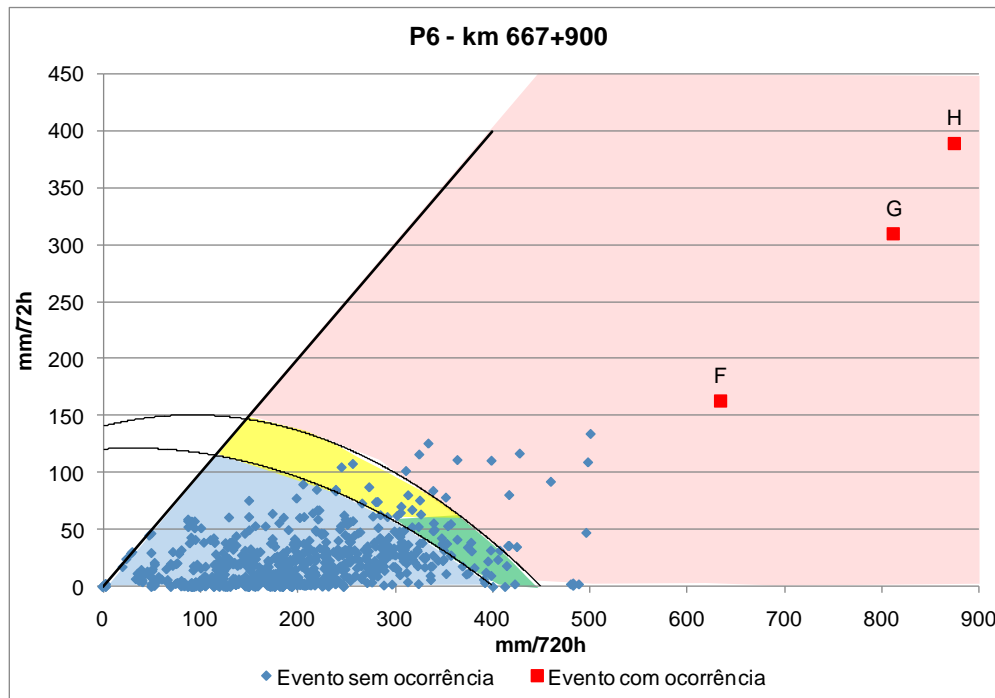


Figura 50 - Correlação mm/720h x mm/72h para pluviógrafo P6.

Os polinômios que definem o limiar apresentado na Figura 50 podem ser definidos por polinômios, cujas equações estão indicadas na Tabela 31:

Tabela 31 - Equações dos limites superior e inferior do limiar crítico de P6.

Limite	Equação
Superior	$y = -0,0012x^2 + 0,2172x + 140,52$
Inferior	$y = -0,0009x^2 + 0,0551x + 120,28$

Onde:

x = precipitação acumulada em 30 dias ou 720h

y = precipitação acumulada em 3 dias ou 72h

Dentre todas as ocorrências consideradas para a elaboração do gráfico representado na Figura 40, 24% dos dias de chuva sem registro de deslizamento encontram-se nos cenários considerados críticos (verde, amarelo e vermelho). Em

relação ao Cenário 4 (vermelho), apenas 3% dos dias sem ocorrência encontram-se nesse patamar, confirmando a aplicabilidade da metodologia proposta.

5.3.2. Monitoramento BR-101/SC

5.3.2.1. Contribuição da vegetação nos níveis de sucção e segurança da encosta

Como parte dos objetivos propostos com o desenvolvimento da presente fase da pesquisa, buscou-se aprofundar o entendimento da real contribuição da vegetação nos níveis de sucção e segurança da encosta. Para tal, propôs-se a realização de procedimentos de roçada em uma área específica onde se concentra boa parte do monitoramento implantado (Figura 51). Tal atividade teve duração de 4 meses e teve início em agosto de 2016, repetindo-se com intervalos de 30/45 dias até o mês de novembro de 2016, de modo a manter a vegetação em uma condição baixa/rasteira. Buscou-se, contudo, avaliar possíveis mudanças no comportamento das leituras, aprofundando-se o entendimento da relação pluviometria-vegetação-poropressão na encosta.

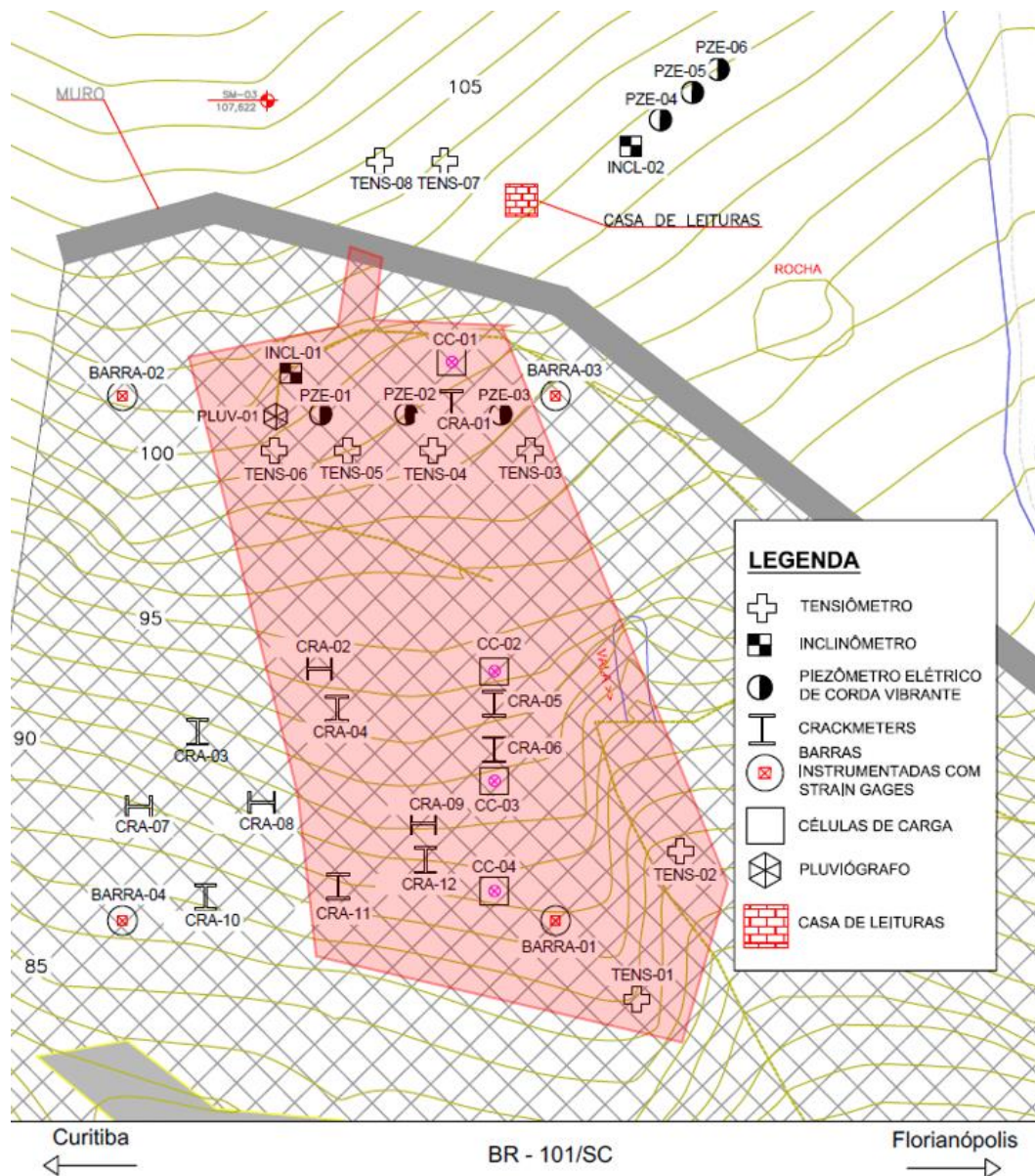


Figura 51 - Croqui da área onde foi realizado o procedimento de roçada (região hachurada) na instrumentação do Morro do Boi

A Figura 53 traz dados das séries piezométricas relevantes para análise do período em que se procedeu à roçada. Verifica-se nos registros uma ausência de evidências de que a tendência de poropressão tenha sido influenciada pelas condições de vegetação impostas nesta área da encosta (PZE-01, PZE-02 e PZE-03). Adicionalmente, é possível verificar que o padrão das leituras permanece similar ao dos instrumentos instalados na região superior, onde a vegetação natural foi mantida. Tal comportamento pode ser considerado esperado, visto que efeitos de vegetação

deveriam afetar as camadas mais superficiais de solo, onde os níveis de poropressão usualmente são negativos.

Na Figura 54 são apresentados os dados de interesse dos tensiômetros. Verifica-se a ausência de variações significativas durante o período de controle (entre agosto e novembro de 2016). Assim como para os piezômetros, observa-se que as variações medidas na ilha onde não houve interferência na vegetação (TENS-07 e TENS-08) são similares às registradas na área afetada (TENS-01 a TENS-06). Por fim, salienta-se que foram analisadas ainda possíveis alterações no comportamento medido pelos *crackmeters* que pudessem ser atribuídas à supressão vegetal, não sendo entretanto observadas mudanças no comportamento das leituras.

Sugere-se o desenvolvimento de novas análises experimentando intervalos menores (20/30 dias) entre os procedimentos de limpeza/roçada e/ou por um período maior de tempo (12 ou 24 meses) de modo a validar as conclusões obtidas até o momento.

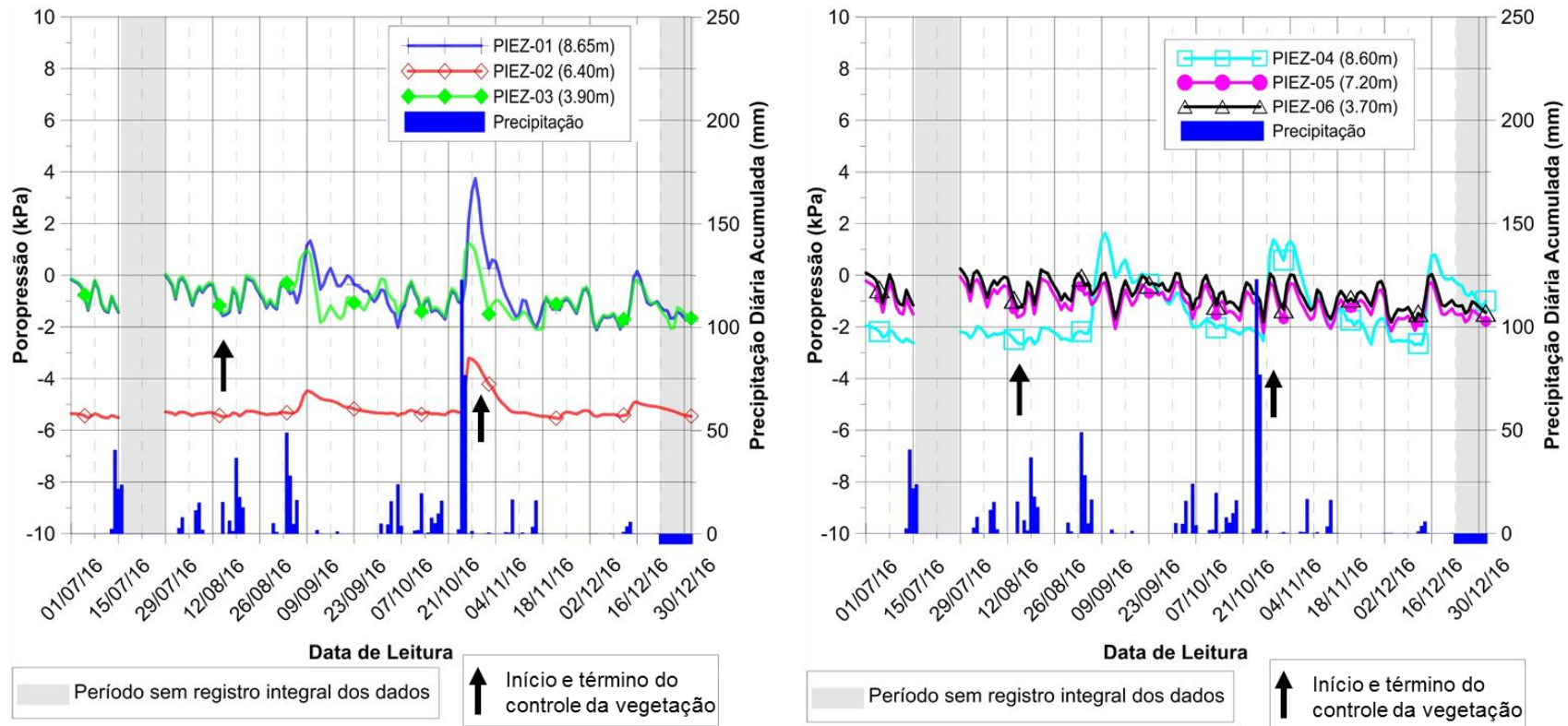


Figura 52 - Gráfico comparativo entre as respostas dos piezômetros

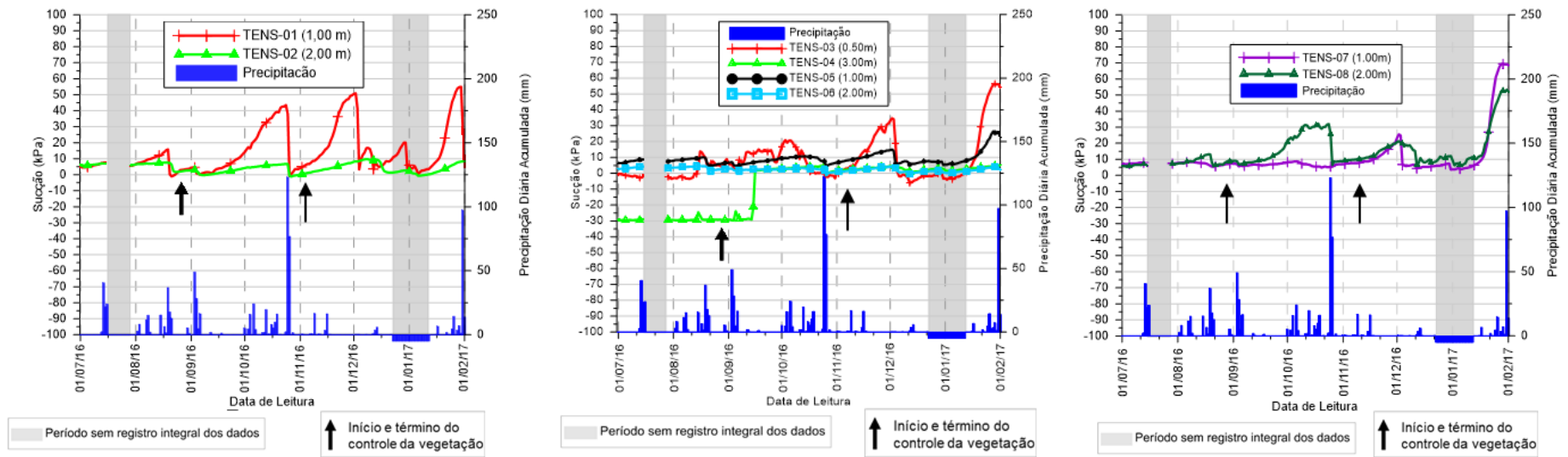


Figura 53 - Gráfico comparativo entre as respostas dos tensiômetros

5.3.2.2. Introdução de variantes no sistema de contenção

As análises tensão-deformação desenvolvidas ao longo da primeira fase da pesquisa no Morro do Boi (Projeto 3) sugeriram que os grampos atuam como o principal elemento estabilizador do talude e que estes encontram-se com carregamentos abaixo de sua capacidade admissível para estruturas permanentes. Os resultados indicaram ainda que a tela metálica tenderia a atuar mais no sentido de evitar a movimentação de blocos de rocha no caso de eventos pluviométricos de maior intensidade do que propriamente ter uma função mais ativa no sistema de estabilização (ALS, 2015b)

Na presente etapa das pesquisas, buscou-se analisar fisicamente as tendências sugeridas pelo modelo tensão-deformação. Para tanto, isolou-se a parcela de contribuição dos grampos e da tela metálica, executando-se um procedimento de soltura (afrouxamento) dos grampos próximos às células de carga que compreendem o plano de monitoramento do local. No total, 7 elementos circundantes às células de carga e *crackmeters* situados abaixo da ilha intermediária foram modificados, conforme pode observado na Figura 54.

Tal procedimento foi realizado entre os dias 15 e 29 de setembro de 2016, utilizando-se chaves de grifo de 19” e desengripante em *spray*. Como parte dos procedimentos de controle adotados, foram realizadas medidas entre a parte superior da porca e o fim de cada um dos grampos (Figura 55) antes e depois de cada modificação introduzida. Na Tabela 32 essas informações são apresentadas de forma detalhada.

Cabe salientar que alguns grampos apresentavam processos corrosivos dificultavam a operação de “afrouxamento”. Além disso, ressalta-se que até o momento os grampos não foram reapertados.

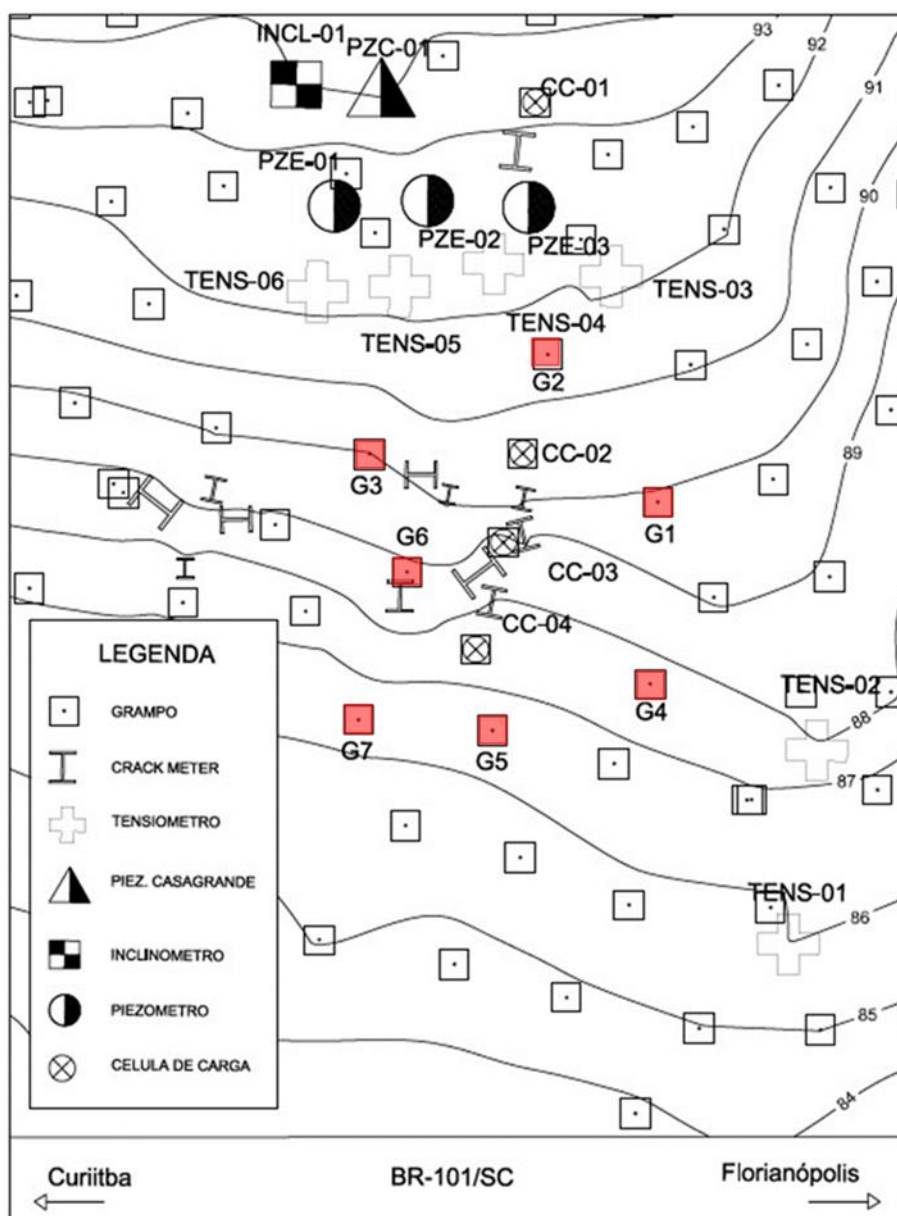


Figura 54 - Croqui com a delimitação dos grampos modificados



Figura 55 - Soltura (afrouxamento) dos grampos

Tabela 32 - Identificação dos grampos e medidas iniciais e finais

Identificação do grampo	Medidas (cm)	
	Inicial	Final
Grampo 1 (G1)	21,0	12,8
Grampo 2 (G2)	27,0	17,3
Grampo 3 (G3)	19,0	8,5
Grampo 4 (G4)	33,0	31,5
Grampo 5 (G5)	17,0	8,3
Grampo 6 (G6)	41,0	38,0
Grampo 7 (G7)	39,0	38,0

Na Figura 56 observa-se em detalhe as variações das células de cargas previamente e após o procedimento de afrouxamento das porcas. Nela, as setas indicam a data de realização dos procedimentos. Com base na Figura 57, verifica-se que as reduções observadas nas leituras após esse período podem ser associadas mais à variação sazonal e, conseqüentemente, da temperatura do que ao afrouxamento dos grampos propriamente dito. Uma discussão sobre o efeito carga nos grampos versus temperatura foi apresentada no item 5.2.2.6.

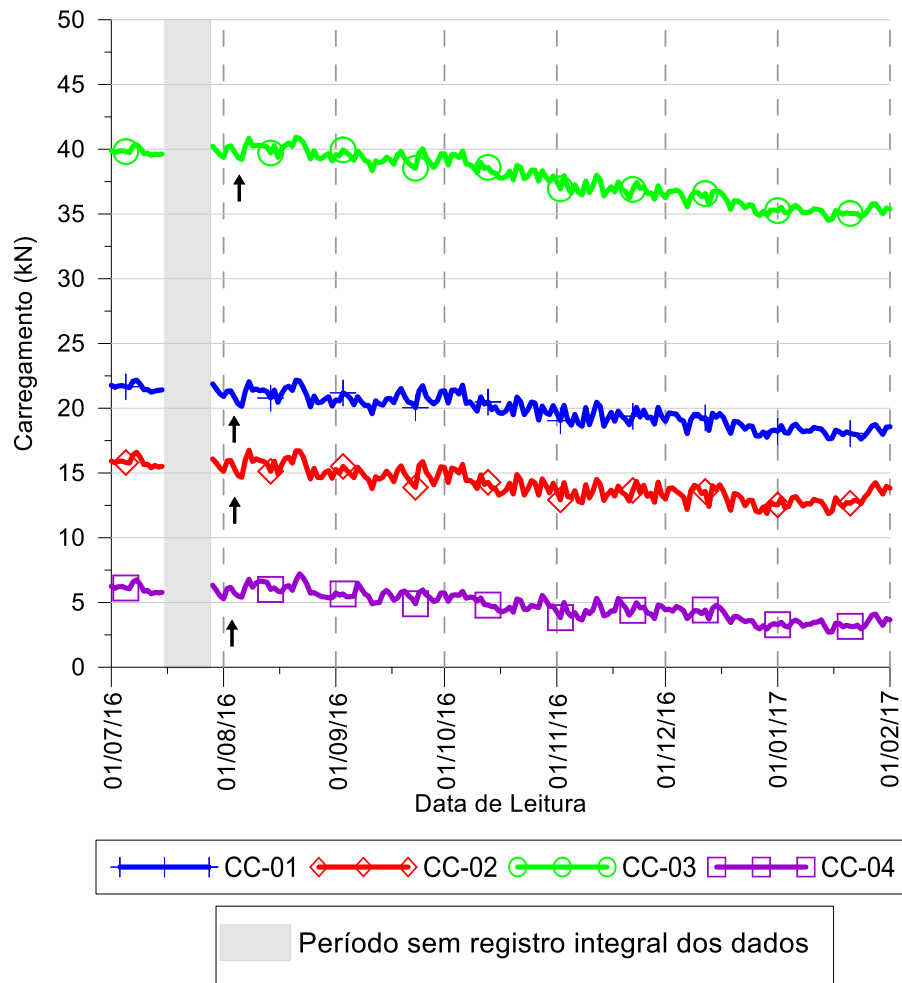


Figura 56 - Gráfico comparativo das leituras das células de carga após a soltura dos grampos (data de alívio/afrouxamento indicado pelas setas).

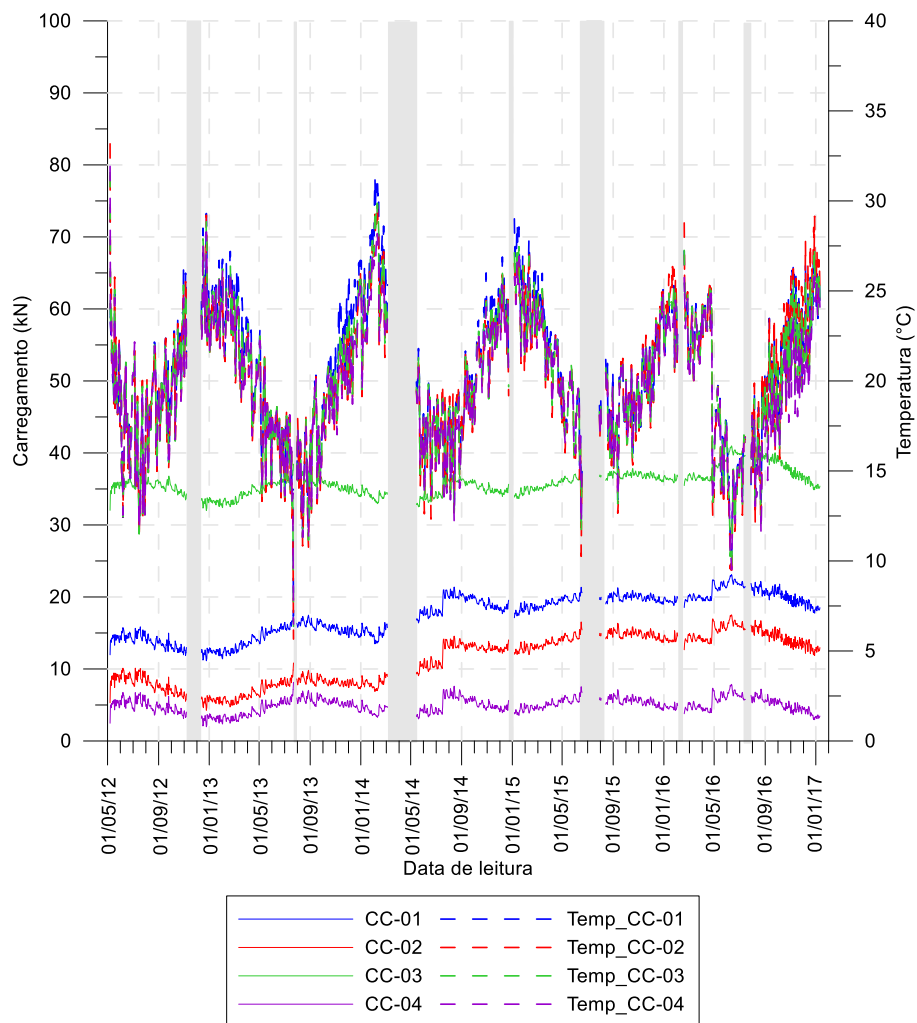


Figura 57 - Gráfico comparativo da série histórica completa das células de carga em função das variações de temperatura medidas

Buscou-se ainda identificar possíveis alterações no comportamento medido pelos *crackmeters* (Figura 58). Verifica-se, entretanto, a ausência de variações significativas durante os registros obtidos ao longo do último semestre onde, de modo geral, os registros mantiveram-se estáveis. Cabe salientar que a ocorrência de deslocamentos abruptos em outubro de 2016 nas ilhas 3 e 4 estão associados a movimentações de pessoal sobre a tela metálica, durante a realização de procedimento de roçada.

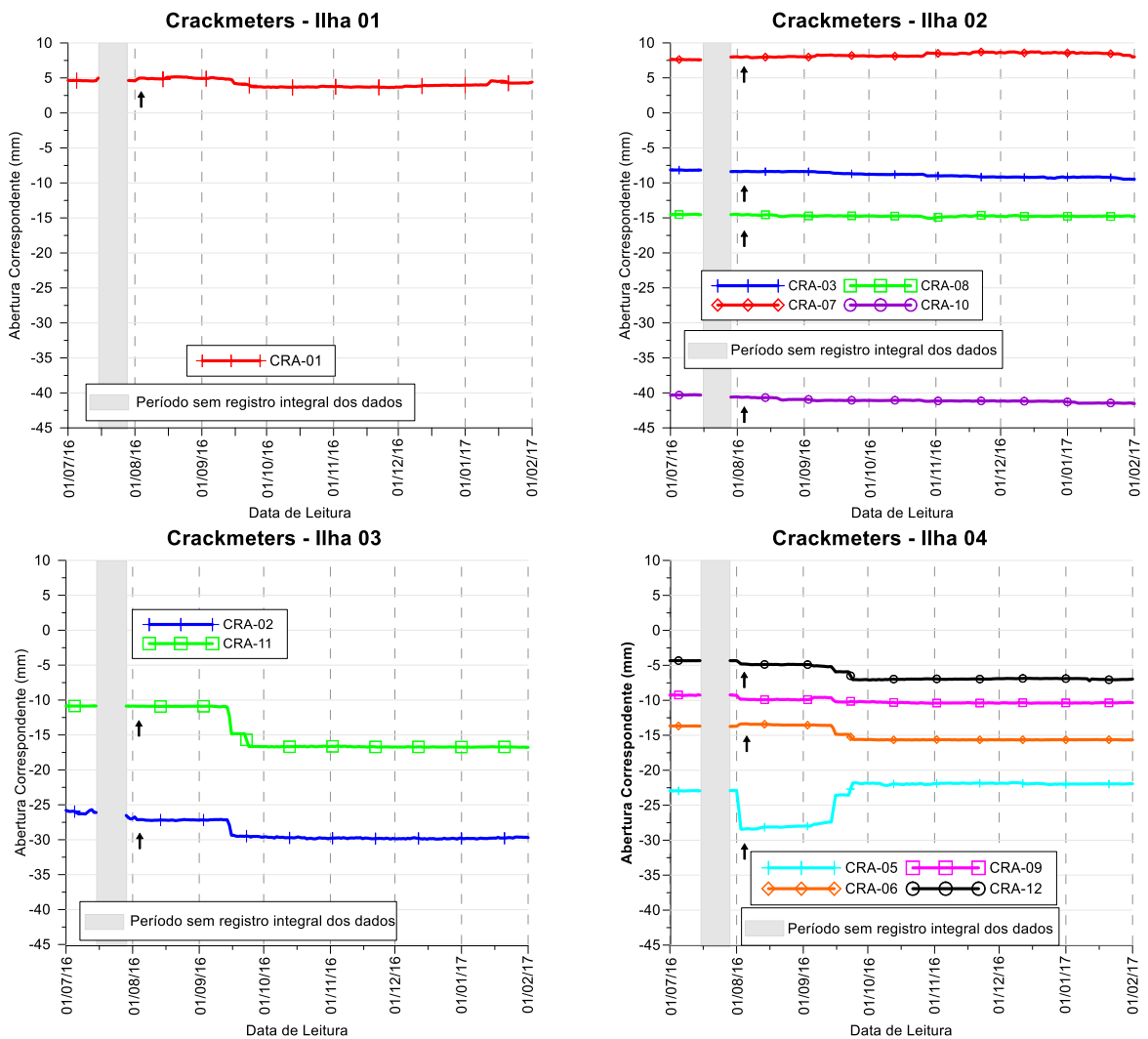


Figura 58 - Gráfico comparativo entre as respostas dos crackmeters (data de alívio/afrouxamento indicado pelas setas).

Por fim, foram avaliadas possíveis variações nas leituras dos *strain gages* (Figura 59). Assim como observado para os demais sensores, não foram registradas variações no comportamento medido pelos mesmos.

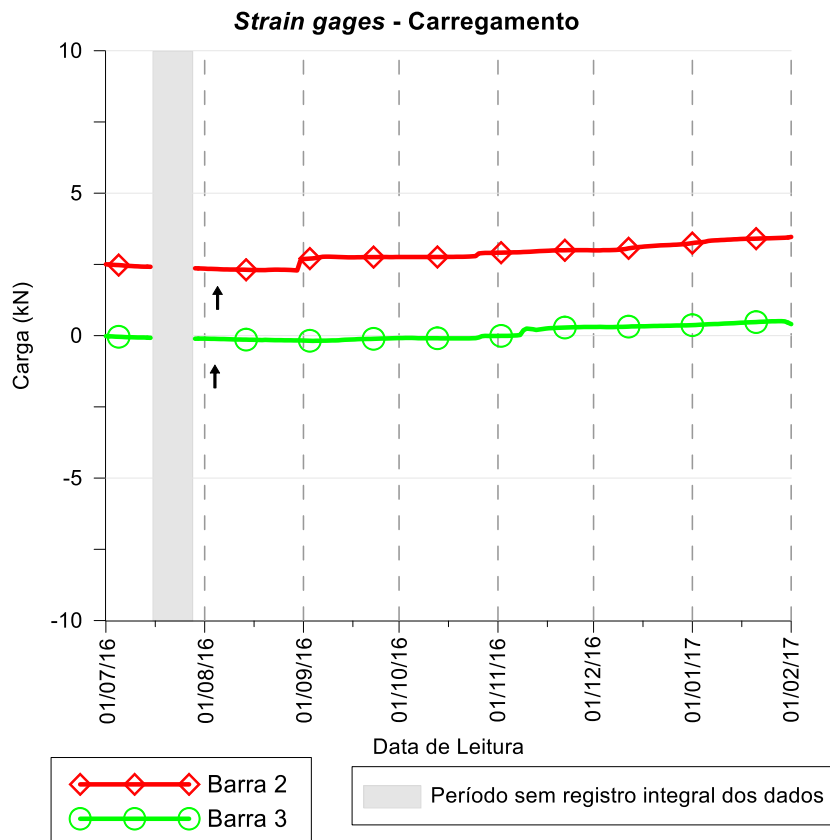


Figura 59 - Gráfico comparativo entre as respostas dos *strain gages*

As importantes constatações experimentais descritas neste item confirmam as tendências observadas nos modelos tensão-deformação, corroborando-se, portanto, a hipótese de que os grampos constituem o principal elemento estabilizador do sistema.

5.3.2.3. Gerenciamento de riscos e critérios de alerta

Com base nos mesmos procedimentos adotados para a região de Serra do Mar da BR-376/PR, foram delimitadas as bacias e respectivas áreas de contribuição hidrográfica para a região onde está instalado o pluviômetro do Morro do Boi (Figura 60).

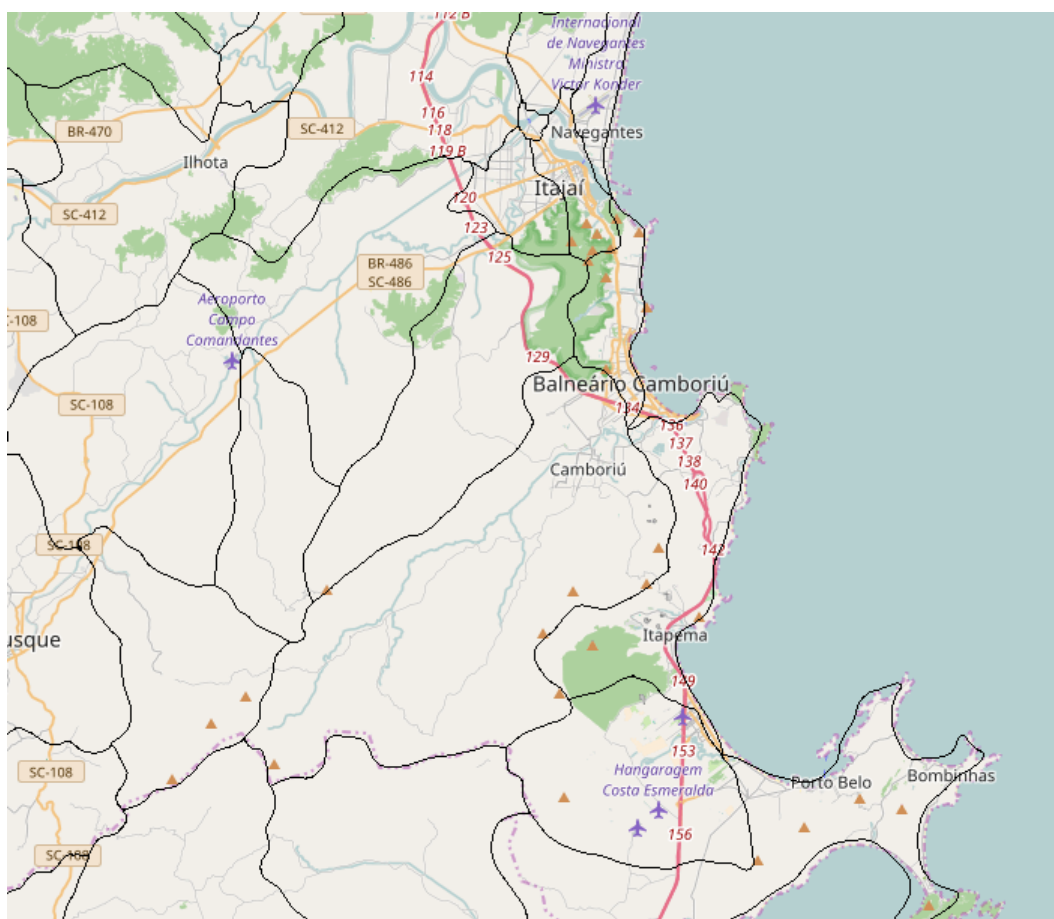


Figura 60 - Área de contribuição das bacias hidrográficas para o trecho contido na BR-101/SC
Fonte: INDE (2016)

Na sequência, essas informações foram tratadas com o auxílio de um *software* de gerenciamento de informações geográficas (Figura 61), permitindo visualizar que a região onde concentram-se os pontos de instabilidade avaliados ao longo do Maciço do Morro do Boi durante as fases iniciais da pesquisa pertencem a uma mesma bacia hidrográfica.

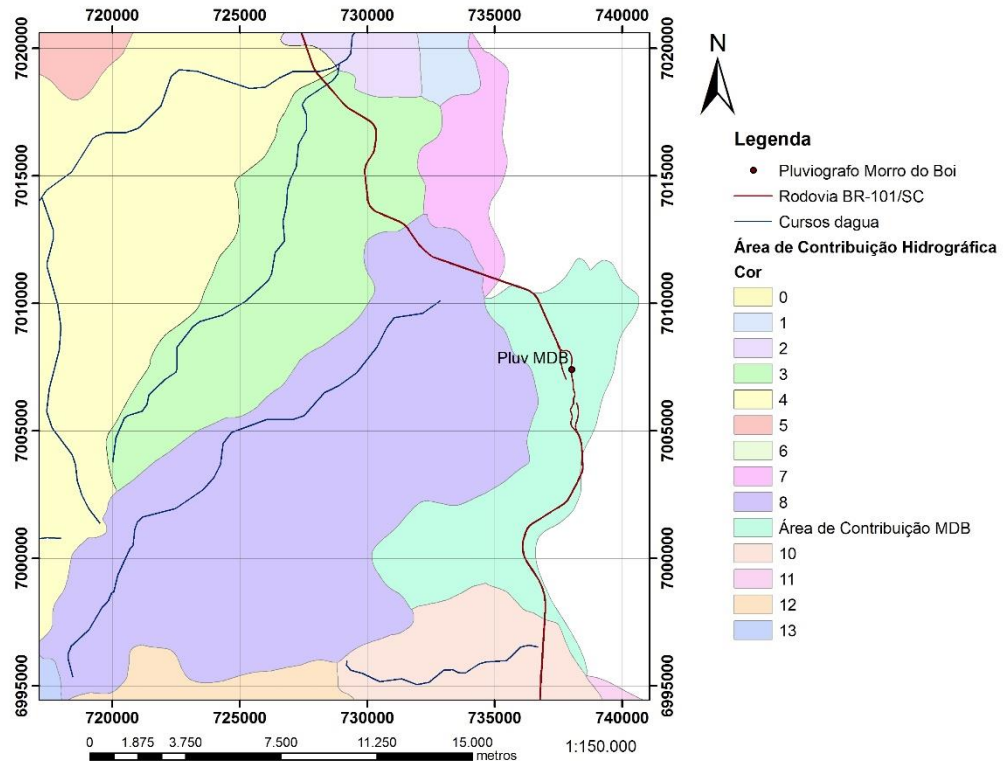


Figura 61 - Áreas de contribuição hidrográficas circundantes ao monitoramento instalado no Morro do Boi. BR-101/SC.

Assim como apresentado para a região da Serra do Mar na BR-376, buscou-se associar os registros de pluviometria e de deslizamento disponíveis para a região do Morro do Boi através da definição de um limiar pluviométrico específico para a região. Para tal, foram considerados apenas as ocorrências contidas na área de contribuição definida para o Morro do Boi (Tabela 33).

Tabela 33- Registros de ocorrências na área do Morro do Boi BR-101/SC.

Código	Data	Localização (km)	Pista
1	04/04/2013	141+190	SUL
		145+250	SUL
2	28/09/2015	140+570	SUL
		141+500	SUL
3	14/10/2015	145+220	SUL
4	25/03/2016	140+740	SUL
5	13/04/2016	138+700	SUL
		139+540	SUL
		139+710	SUL
		140+060	SUL
		140+230	SUL
		140+890	SUL
		141+020	SUL
		141+080	SUL
		145+290	SUL

Na Figura 62 esse limiar pluviométrico é apresentado. Com base nesses resultados, verifica-se que que 3 (três) dos 5 (cinco) eventos reportados, classificam-se em regiões de cenários definidos como críticos.

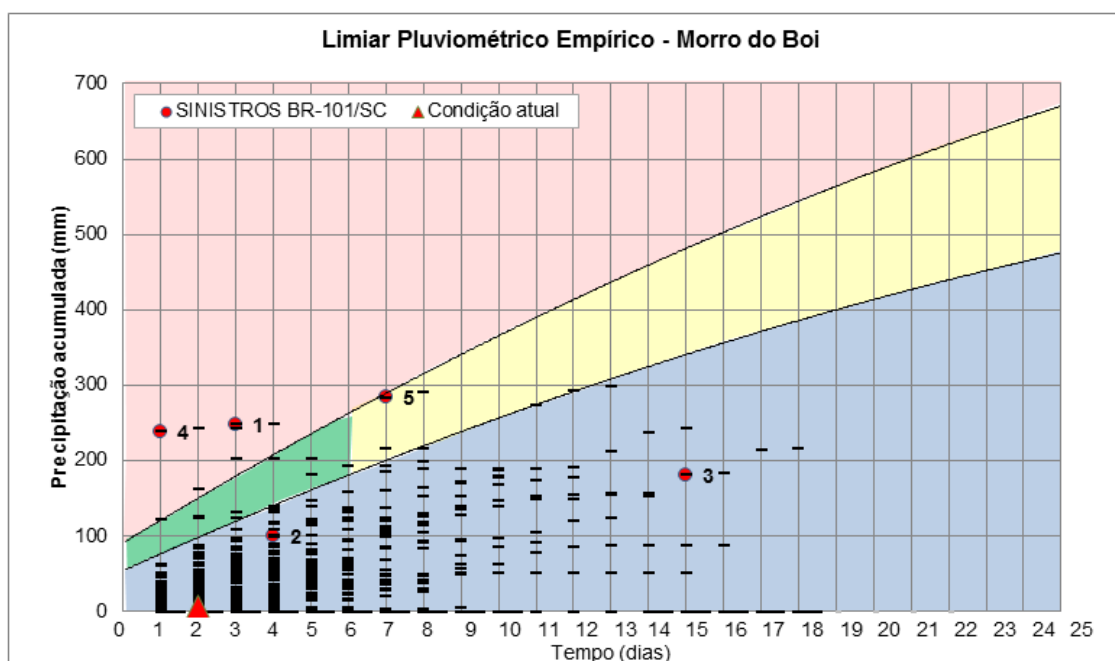


Figura 62 - Limiar pluviométrico empírico para o Morro do Boi

Buscou-se ainda aprofundar a análise de correlações que pudessem complementar a ferramenta de gerenciamento de riscos representada pelo limiar pluviométrico. Na Figura 63 os resultados obtidos são apresentados e permitem concluir que correlações envolvendo a chuva acumulada no dia anterior e em dez dias têm maior representatividade para esta região. Assim

como descrito para a região da Serra do Mar na BR-376, destaca-se que tais resultados foram obtidos a partir de técnicas de análises exploratórias de dados do tipo diagrama de pontos que permitiram identificar a melhor correlação entre diferentes períodos de acúmulo.

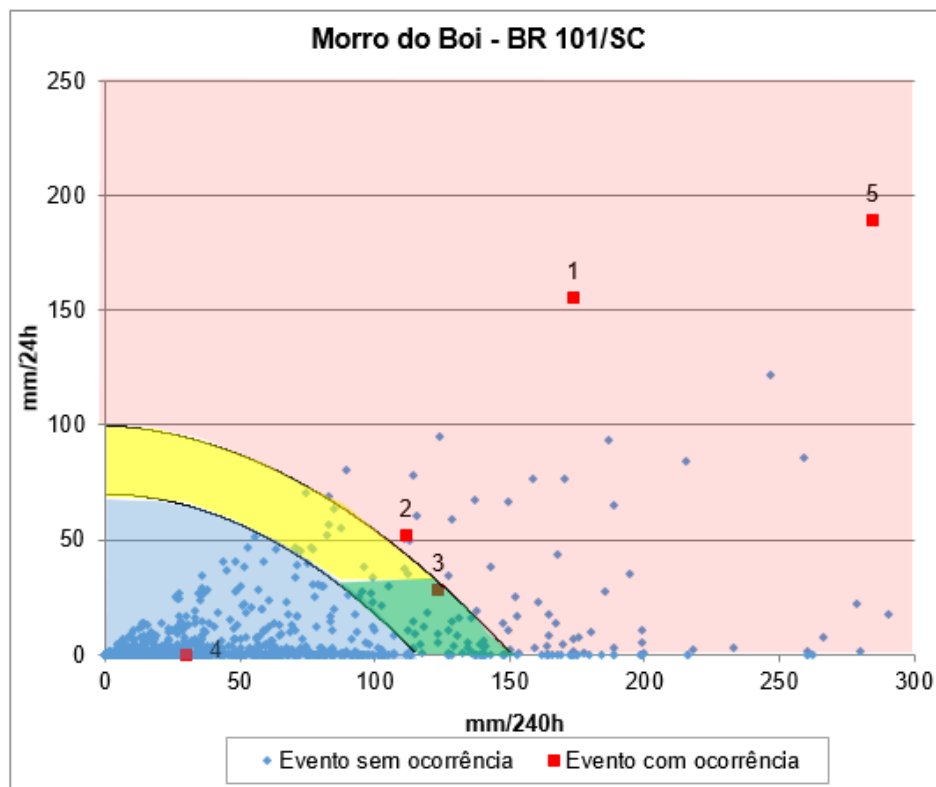


Figura 63 - Correlação entre pluviometria e ocorrência de deslizamentos

Buscou-se também correlacionar outros parâmetros monitorados à ocorrência de deslizamentos. Para tal, foram aplicados modelos matemáticos e estatísticos com vistas a identificar critérios que descrevessem os mecanismos de interação entre a pluviometria, sucção, piezometria e características físicas da encosta (perfil topográfico e estratigráfico).

Inicialmente foi necessário modelar uma seção de análise representativa da estratigrafia para a encosta do Morro do Boi. Optou-se pela utilização de um perfil similar ao empregado nas análises do tipo tensão-deformação com o método da Redução da Resistência ao Cisalhamento (*Strength Reduction Factor - SRF*), realizadas na etapa inicial da pesquisa (Projeto 3).

O perfil geológico-geotécnico da seção estudada foi obtido com base nas sondagens mistas e ensaios geofísicos realizados no Projeto 3. A estratigrafia foi definida em três camadas, sendo a mais superficial composta por um horizonte de areia, sob o qual nota-se a presença de rocha alterada. Subjacente à rocha alterada existe material considerado como rocha sã (Figura 64). A seção incluiu ainda os principais elementos da contenção implantados no local: grampos espaçados a cada 1,80 m e a viga de coroamento com fundação com estacas raiz posicionada a montante da área estabilizada. Os parâmetros de resistência do solo e dos materiais utilizados no processo de estabilização (grampos e estaca raiz) foram modelados com base nos valores definidos na etapa inicial da pesquisa. A Tabela 34 apresenta os valores representativos para cada camada de solo da encosta.

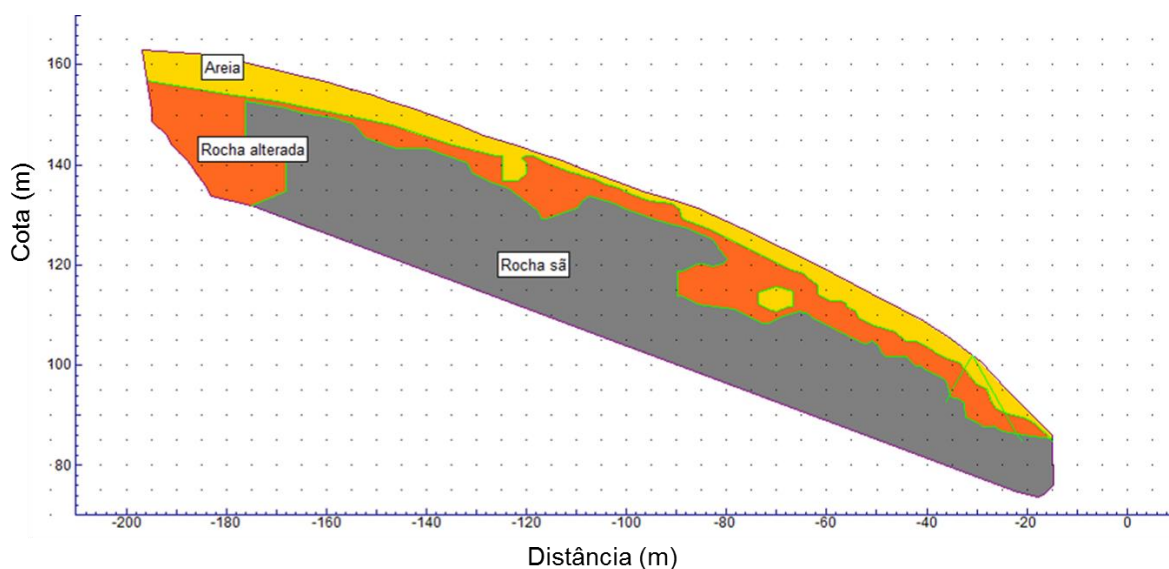


Figura 64 - Seção analisada - Visão geral
Fonte: ALS (2015b)

As condições iniciais de poropressão da encosta foram inicialmente definidas a partir de um *software* para análise de estabilidade. Foram lançados pontos específicos na encosta e informadas as respectivas colunas d'água. Com isso, o modelo interpolou os dados e gerou um perfil de poropressão para o talude. A Figura 65 ilustra os instrumentos lançados ao longo da encosta. A seção de análise foi então reduzida para uma extensão que representa o terço inferior do talude. Tal decisão se ateve ao fato de que a instrumentação se concentra nessa região e, conseqüentemente, os dados de monitoramento utilizados como parâmetros de entrada.

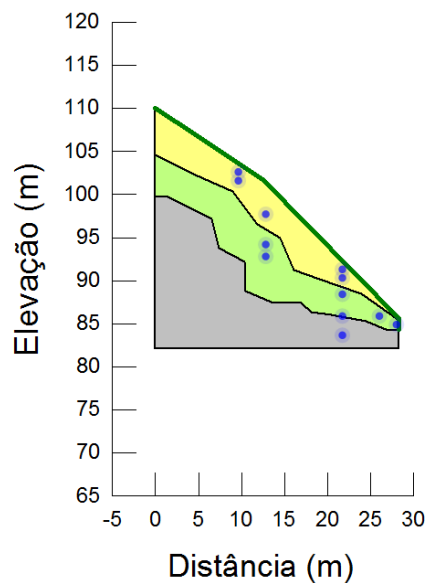


Figura 65 - Pontos lançados no software

Tabela 34 - Parâmetros do solo
Fonte: ALS (2015b)

Material	Peso específico	Ângulo de atrito	Coesão
Solo superficial	16,5 kN/m ³	32,6°	5,7 kPa
Rocha alterada	16,5 kN/m ³	38°	14 kPa
Rocha sã	27 kN/m ³	38°	14 kPa

Todas as análises foram elaboradas de modo a comparar os fatores de segurança dos modelos empregados com (Figura 66b) e sem (Figura 66a) a inclusão do sistema de estabilização.

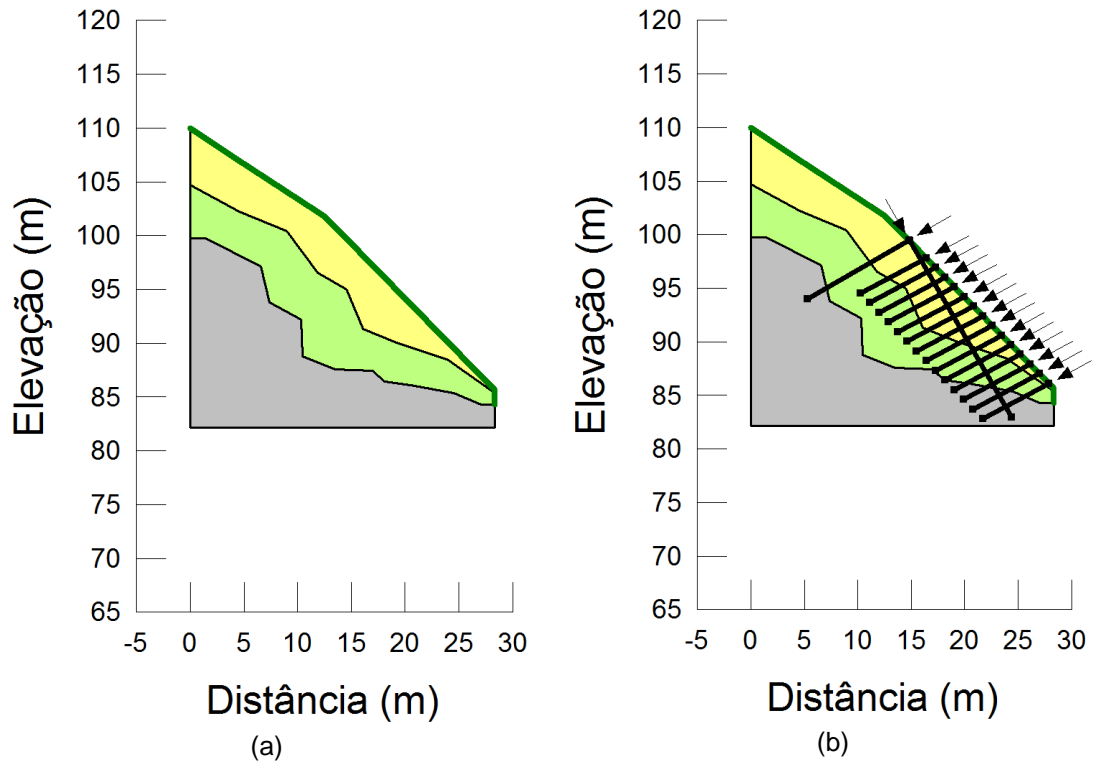


Figura 66 - Seção de análise: (a) natural (b) estabilizada

Um exemplo de como os dados do monitoramento foram inseridos no modelo é apresentado na Figura 67.

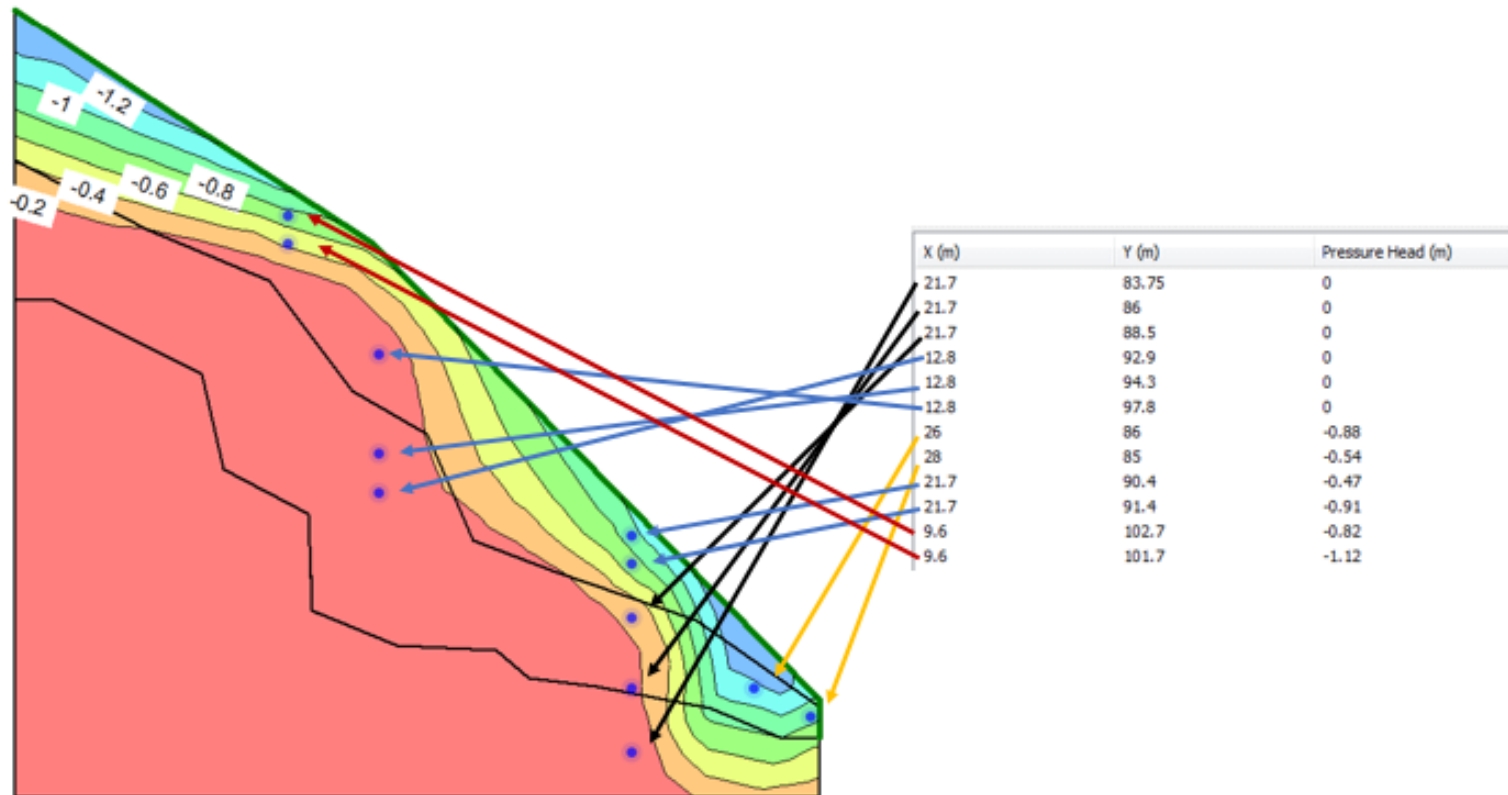


Figura 67 - Seção de análise com inclusão dos pontos de monitoramento

Tendo-se definido a estratigrafia da seção de análise e se identificado os pontos monitorados, fez-se necessário estabelecer alguns cenários que representassem o comportamento da encosta. Para tal, inicialmente foram selecionadas datas onde foram registrados os maiores picos de poropressão ao longo do período monitorado. Com isso, foram filtrados eventos onde as leituras no PZE-01 (8,60 m) fossem superiores a 6 kPa (Tabela 35) e no PZE-04 (8,65 m) fossem acima de 4 kPa (Tabela 36).

Tabela 35 - Eventos com registro maior do que 6 kPa de poropressão no PZE-01

Evento	Data	Evento	Data
1	07/04/2013	22	25/10/2015
2	31/07/2013	23	26/10/2015
3	23/09/2013	24	27/10/2015
4	24/09/2013	25	28/10/2015
5	25/09/2013	26	29/10/2015
6	26/09/2013	27	30/10/2015
7	27/09/2013	28	31/10/2015
8	28/09/2013	29	01/11/2015
9	12/10/2015	30	02/11/2015
10	13/10/2015	31	03/11/2015
11	14/10/2015	32	04/11/2015
12	15/10/2015	33	05/11/2015
13	16/10/2015	34	06/11/2015
14	17/10/2015	35	07/11/2015
15	18/10/2015	36	08/11/2015
16	19/10/2015	37	09/11/2015
17	20/10/2015	38	10/11/2015
18	21/10/2015	39	11/11/2015
19	22/10/2015	40	12/11/2015
20	23/10/2015	41	04/03/2016
21	24/10/2015	42	05/03/2016

Tabela 36 - Eventos com registro maior do que 4 kPa de poropressão no PZE-04

Evento	Data	Evento	Data	Evento	Data	Evento	Data
1	24/09/2013	17	10/10/2013	33	14/10/2015	49	30/10/2015
2	25/09/2013	18	11/10/2013	34	15/10/2015	50	31/10/2015
3	26/09/2013	19	12/10/2013	35	16/10/2015	51	01/11/2015
4	27/09/2013	20	28/09/2015	36	17/10/2015	52	02/11/2015
5	28/09/2013	21	29/09/2015	37	18/10/2015	53	03/11/2015
6	29/09/2013	22	30/09/2015	38	19/10/2015	54	04/11/2015
7	30/09/2013	23	01/10/2015	39	20/10/2015	55	05/11/2015
8	01/10/2013	24	02/10/2015	40	21/10/2015	56	06/11/2015
9	02/10/2013	25	03/10/2015	41	22/10/2015	57	07/11/2015
10	03/10/2013	26	04/10/2015	42	23/10/2015	58	08/11/2015
11	04/10/2013	27	05/10/2015	43	24/10/2015	59	09/11/2015
12	05/10/2013	28	06/10/2015	44	25/10/2015	60	10/11/2015
13	06/10/2013	29	10/10/2015	45	26/10/2015	61	11/11/2015
14	07/10/2013	30	11/10/2015	46	27/10/2015	62	12/11/2015
15	08/10/2013	31	12/10/2015	47	28/10/2015	63	05/03/2016
16	09/10/2013	32	13/10/2015	48	29/10/2015	64	06/03/2016

Tais eventos foram então correlacionados com os registros de pluviometria buscando-se identificar qual volume acumulado (em horas) melhor representava as leituras. Com base em análises exploratórias de dados através de correlações diretas e digramas de pontos foi possível concluir que para a série histórica disponível até o momento o acumulado de chuva de dez dias é o que melhor representa os valores de poropressão acima de 6 kPa para o piezômetro 1 (Figura 68). Nela, verifica-se que para tal acúmulo, os volumes registrados nesses eventos encontram-se acima de 100 mm. Ressalta-se que essas ocorrências representam 18% dos registros obtidos até o

momento. Ao analisar apenas os eventos acima de 100 mm e com poropressão acima de 6 kPa tem-se apenas 38 ocorrências ou 14,1% dos dados.

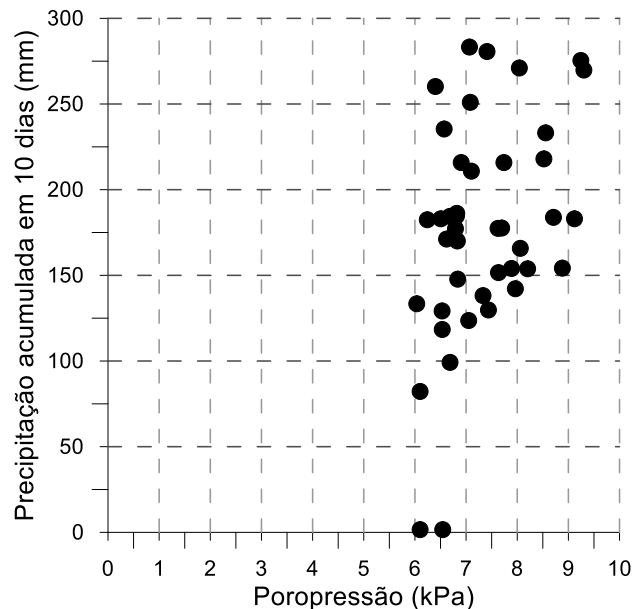


Figura 68 - Poropressão superior a 6 kPa *versus* precipitação acumulada em dez dias

Para o piezômetro 4, concluiu-se que um acumulado de vinte dias com volumes acima de 200 mm (Figura 69) é o que melhor representa as variações de poropressão que, nesse caso, foram filtradas para registros acima de 4 kPa. Tais diferenças no comportamento medido podem ser associadas ao posicionamento dos instrumentos na encosta: o PZE-04, instalado em uma cota superior, encontra-se em um local onde o nível do lençol freático tende a ser mais profundo. Contudo, para que o instrumento registre um acréscimo maior nas medidas de poropressão são necessários eventos mais longos de precipitação, mesmo que com um mesmo volume médio diário (10 mm). Para o PZE-04, 17,68% dos eventos com acúmulo de chuva em vinte dias são maiores que 200 mm e 13,61% dos eventos os acumulados de chuva em vinte dias possuem acumulado maior que 200 mm e poropressão no instrumento desenvolvida maior que 4 kPa.

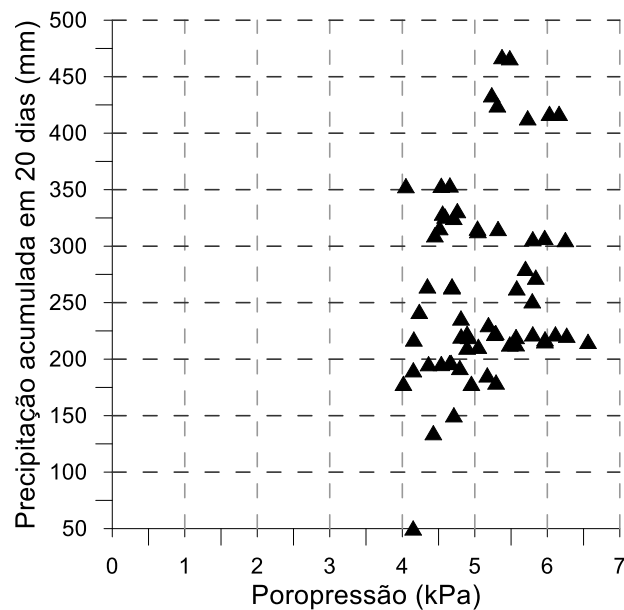


Figura 69 - Poropressão superior a 4 kPa *versus* precipitação acumulada em vinte dias

Na sequência, análises determinísticas foram realizadas pelo método de Bishop Simplificado, em conjunto com análises probabilísticas baseadas no método de Monte Carlo. Nestas, considerou-se um desvio de 10% nos parâmetros de resistência do solo.

Procedeu-se então ao cálculo do fator de segurança para as condições de poropressão geradas nos eventos predefinidos. Para tal, foram considerados 17 eventos cujas características foram descritas e delimitadas nos parágrafos precedentes (Tabela 37). A avaliação da suscetibilidade da encosta envolvendo cenários de poropressão e pluviometria conhecidos reflete em resultados com maior nível de confiabilidade por caracterizarem condições reais da encosta. Em contrapartida, a utilização de análises do tipo tensão x deformação impossibilitaria a inclusão desses parâmetros e, portanto, sua aplicação refletiria em resultados menos satisfatórios para o objetivo aqui proposto.

Tabela 37 - Dados de entrada utilizados para avaliação do fator de segurança na encosta

Evento	Data	PZE-01	PZE-02	PZE-03	PZE-04	PZE-05	PZE-06	TENS-01	TENS-02	TENS-06	TENS-05	TENS-07	TENS-08
1	23/09/2013	6,9	-2,9	4,6	3,2	-0,5	-0,1	0,2	0,0	0,5	0,0	3,7	0,0
2	24/09/2013	7,7	-2,9	3,5	4,2	-0,6	-0,2	0,8	0,0	1,1	0,3	4,1	0,4
3	25/09/2013	8,5	-3,0	3,1	4,9	-0,1	0,2	1,0	0,0	1,4	2,6	4,3	0,5
4	26/09/2013	8,7	-3,1	2,8	5,6	0,2	0,4	1,4	0,0	1,7	4,8	4,6	0,7
5	27/09/2013	8,1	-3,2	2,4	6,0	0,1	0,3	1,7	0,0	1,9	4,7	4,7	0,9
6	28/09/2013	6,8	-3,4	1,8	6,1	-0,2	0,1	1,8	0,0	2,0	4,6	4,7	0,9
7	07/10/2013	4,9	-4,3	-0,7	5,6	0,3	0,8	2,1	1,2	2,5	3,4	4,9	0,8
8	08/10/2013	4,6	-4,3	-0,6	5,5	0,3	0,7	2,8	1,4	2,6	3,0	5,8	1,0
9	30/09/2015	5,7	-3,1	0,7	5,2	1,8	-0,6	0,4	0,0	1,5	4,4	5,5	1,7
10	01/10/2015	5,9	-3,2	0,4	5,3	1,9	-0,4	0,5	0,0	1,7	4,6	5,5	1,7
11	23/10/2015	9,1	-2,6	2,1	5,8	2,2	-0,1	0,3	0,0	0,9	3,8	5,5	0,7
12	24/10/2015	8,9	-2,8	1,6	6,2	2,6	-0,1	0,6	0,0	1,4	4,3	5,6	1,2
13	25/10/2015	7,9	-3,0	1,0	6,0	2,3	0,0	0,2	0,0	1,7	4,6	5,8	1,5
14	04/11/2015	8,0	-3,1	0,2	5,3	1,6	-0,5	0,0	0,0	0,7	3,4	4,8	0,9
15	05/11/2015	9,2	-2,8	1,2	5,7	2,3	-0,4	0,0	0,0	0,7	3,4	4,8	1,1
16	06/11/2015	9,3	-2,8	1,1	6,2	2,7	-0,2	0,0	0,0	1,2	3,8	5,1	1,6
17	07/11/2015	8,6	-3,0	0,7	6,0	2,5	-0,3	0,0	0,0	1,4	4,1	5,6	1,7

A Figura 70 apresenta os fatores de segurança obtidos a partir do método determinístico e os máximos e mínimos obtidos pelo método probabilístico, considerando a seção estabilizada. Na Figura 71 estão apresentados os resultados obtidos para a seção natural.

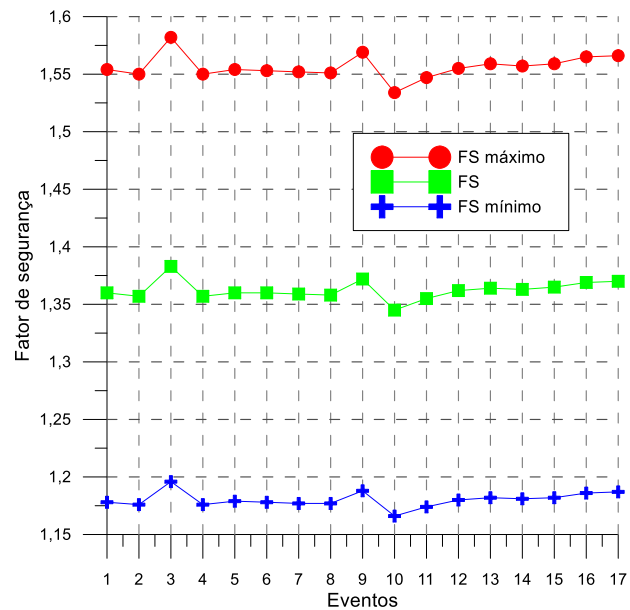


Figura 70 - Fator de segurança para as modelagens com seção do talude estabilizado

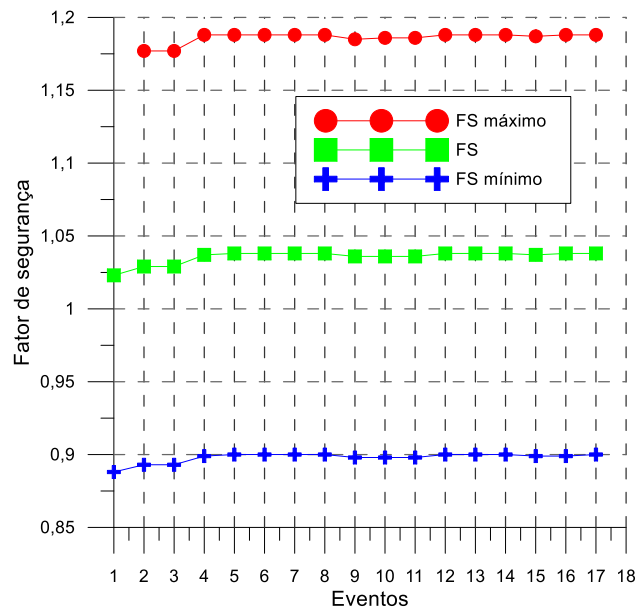


Figura 71 - Fator de segurança para as modelagens com seção do talude natural

Com base nesses resultados é possível concluir que o sistema de estabilização traz um aumento significativo no fator de segurança, na ordem de 32%. Constatações semelhantes já haviam sido encontradas nas análises tensão-deformação anteriores. Cabe salientar que a inclusão do sistema de estabilização, além de trazer ganhos de resistência/estabilidade para a encosta, faz com que a cunha potencial de ruptura, ou seja, a zona de maior suscetibilidade da encosta, seja deslocada para as áreas naturais, a montante do sistema de contenção (Figura 72).

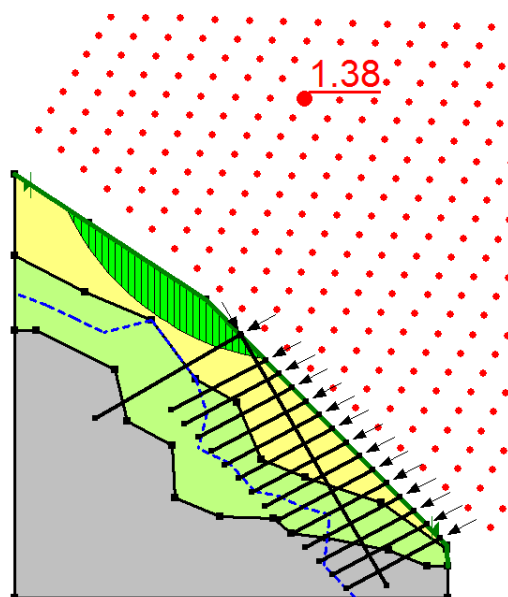


Figura 72 - Exemplo de resultado obtido com as análises realizadas com a seção estabilizada

Para fins de extrapolação do entendimento alcançado no estudo do km 140+700 m do Morro do Boi, buscou-se simular cenários de poropressão onde o fator de segurança na condição natural (não estabilizada) resultasse e refletisse em condições de maior suscetibilidade. Inicialmente, foram testadas situações onde a sucção em profundidades de 1 e 2 metros fossem nulas, variando-se os valores de poropressão em profundidades maiores. Em complemento a isso, foram simulados cenários onde os valores de poropressão foram zerados, variando-se os valores de sucção. Um resumo com as características de todos os eventos avaliados é apresentado na Tabela 38. Na Figura 74 os resultados dessas análises são apresentados. Observa-se que, de um modo geral, os fatores de segurança obtidos foram muito próximos e, em muitos casos, cenários distintos de poropressão resultaram em um mesmo nível de suscetibilidade.

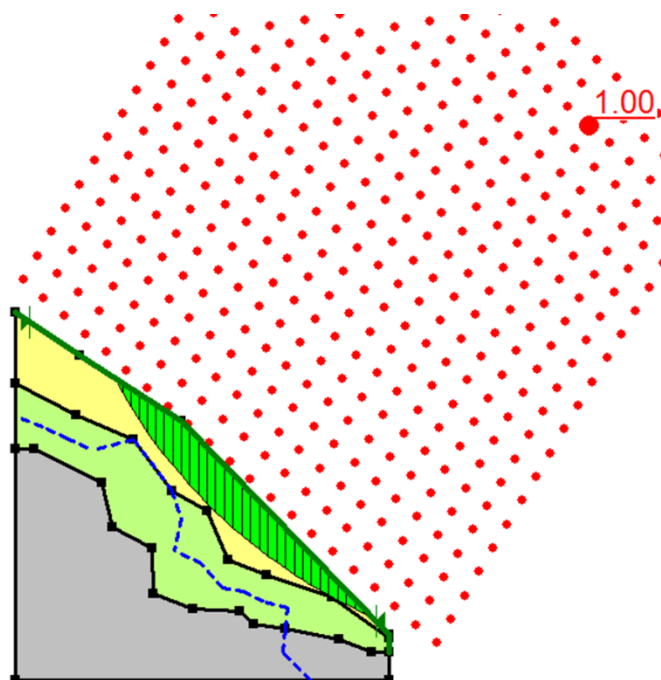


Figura 73 - Exemplo de resultado obtido com as análises realizadas com a seção natural

Tabela 38 - Cenários de poropressão simulados

Evento	PZE-01	PZE-02	PZE-03	PZE-04	PZE-05	PZE-06	TENS-01	TENS-02	TENS-05	TENS-06	TENS-07	TENS-08
1	20	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0
2	20	10	10	10	5	5	0	0	0	0	0	0
3	30	10	10	20	10	10	0	0	0	0	0	0
4	40	20	10	30	20	10	0	0	0	0	0	0
5	15	0	0	15	0	0	-5	-15	-5	-15	-5	-15
6	10	0	0	10	0	0	-5	-15	-5	-15	-5	-15
7	0	0	0	0	0	0	-5	-15	-5	-15	-5	-15
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	-50	-50	-50	-50	-50	-50
10	0	0	0	0	0	0	-100	-100	-100	-100	-100	-100
11	-5	-5	-5	-5	-5	-5	0	0	0	0	0	0
12	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5	-5
13	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10	-10
14	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20	-20
15	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40	-40

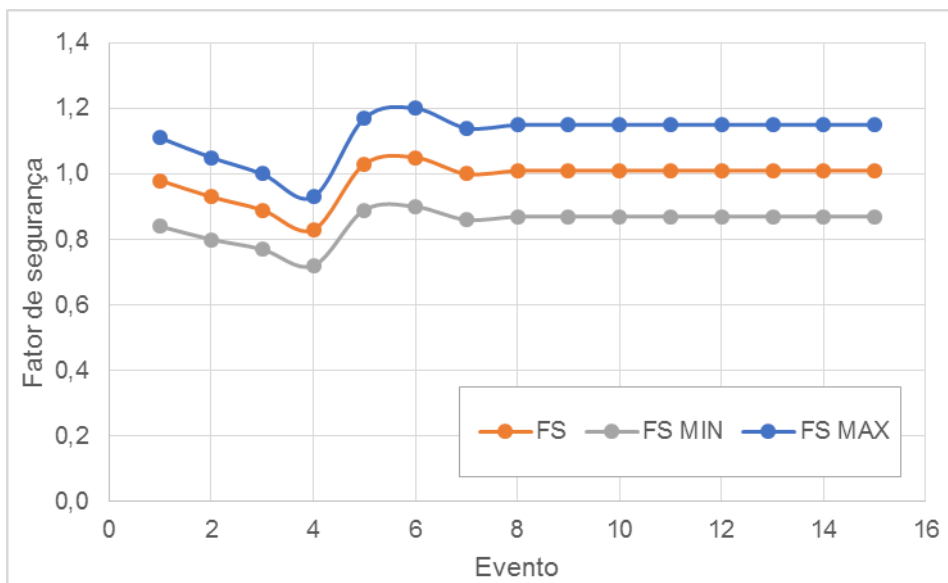


Figura 74 - Fatores de segurança obtidos em função dos cenários simulados

Ainda no intuito de se extrapolar o entendimento para outras regiões da rodovia ao longo do Morro do Boi, buscou-se avaliar a influência de variações no perfil topográfico e, conseqüentemente, na declividade da encosta natural em relação ao nível de suscetibilidade/fator de segurança. Em específico no km 140+700 m (seção em estudo), tem-se uma declividade do terreno da ordem de 46°. Contudo, buscou-se avaliar possíveis variações nos fatores de segurança a partir de seções de menor declividade. O escopo das análises envolveu a avaliação de perfis com 40°, 42° e 44°. Na Figura 75 um comparativo contendo todos os resultados obtidos é apresentado. Os fatores de segurança máximos e mínimos obtidos a partir de análises probabilísticas com esses cenários são apresentados nas Figuras 76 e 77, respectivamente. Como seria de se esperar, o aumento da declividade é inversamente proporcional ao fator de segurança da encosta. Pequenas variações na declividade (5% quando consideradas as análises com 44o) resultaram em fatores de segurança 10 a 27% maiores que aqueles obtidos com as seções reais (46°). Para as análises onde a declividade foi reduzida em 15% (40°), tais diferenças foram ainda maiores, sendo possível encontrar diferenças entre 23 e 35% nos resultados obtidos. Tal característica pode ser decisiva,

por exemplo, para a ocorrência ou não de deslizamentos ao longo de um trecho com topografia irregular.

A constatação da influência relevante dos parâmetros de poropressão no nível de segurança na região do Morro do Boi, e de que pequenas mudanças na declividade podem se traduzir em grandes variações no FS mostra-se consistente com tendências observadas na primeira etapa do Projeto 4. O meio técnico tradicionalmente foca a necessidade de obtenção de parâmetros de resistência representativos de solos locais. Entretanto, quando se busca aplicar técnicas que permitam generalizar a avaliação de condições de estabilidade, caso típico de um trabalho de mapeamento de suscetibilidade a escorregamentos, merecem ênfase fatores como níveis de sucção (estes sendo condicionados pela pluviometria e propriedades de retenção de umidade dos solos) e declividade.

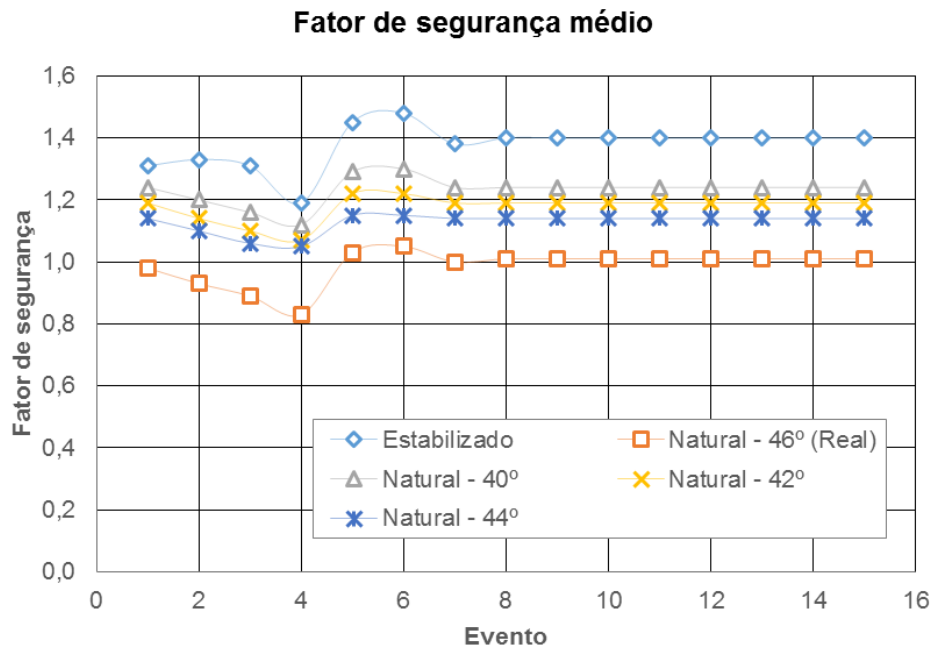


Figura 75 - Fator de segurança obtido a partir de diferentes declividades

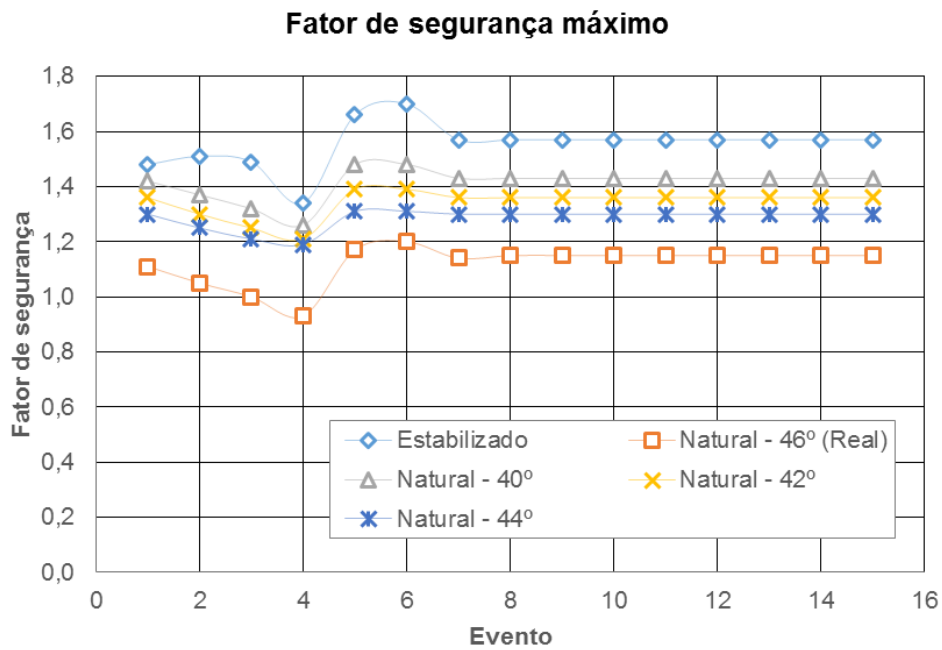


Figura 76 - Fator de segurança máximo obtido a partir de diferentes declividades

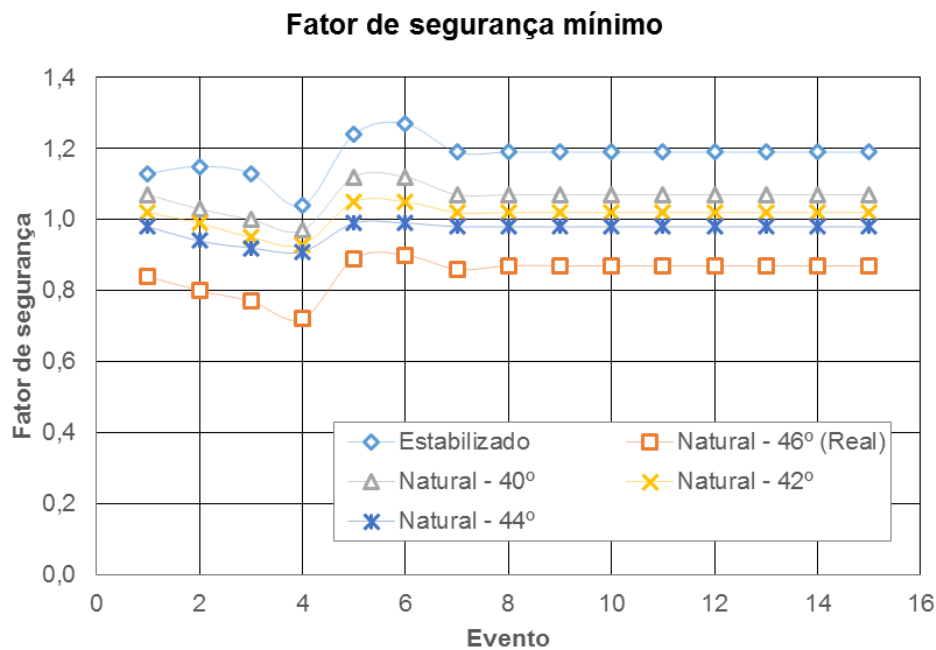


Figura 77 - Fator de segurança mínimo obtido a partir de diferentes declividades

6. Considerações finais

6.1. Monitoramento BR-376/PR

Na fase em questão da pesquisa, houve o interesse de se validar e ampliar a série histórica obtida com os seis pluviógrafos instalados nas etapas preliminares do projeto. Com base nos dados disponíveis até o momento, foi possível observar significativas diferenças nos registros obtidos por esses equipamentos, sendo possível associá-las à altimetria: os maiores registros foram obtidos para os pontos de menor cota de instalação e vice-versa.

A análise dos dados permitiu ainda mapear de forma preliminar a existência de estações “secas” e/ou “chuvosas” na área de interesse. Verifica-se que os maiores acumulados pluviométricos concentram-se entre os meses de novembro e fevereiro e

representam volumes em média 54% maiores que aqueles medidos durante a estação seca (meses de março a outubro).

O avanço no entendimento das características do regime pluviométrico local permitiu delimitar a existência de duas bacias de contribuição principais que englobam as estações pluviométricas implantadas. A partir dessas informações e com base na distância entre os pontos de instalação dos equipamentos, foram mapeadas as áreas de influência de cada pluviógrafo.

A atualização do inventário de ocorrências de deslizamentos, incluindo eventos registrados ao longo do período compreendido pela presente etapa do projeto e em conjunto com as áreas de influência definidas para cada estação de monitoramento, permitiu aperfeiçoar os critérios de alerta através de limiares pluviométricos específicos para cada pluviógrafo. Apesar disso, recomenda-se uma calibração contínua dos limites propostos, atentando-se à evolução dos processos naturais e antrópicos que podem reduzir ou aumentar valores de pluviometria crítica, observação que já havia resultado das análises efetuadas na fase inicial da pesquisa.

6.2. Monitoramento BR-101/SC

Como parte do escopo proposto para a Fase 2 do projeto, buscou-se aprofundar o entendimento do comportamento da encosta situada no km 140+700 m da BR-101/SC, no maciço denominado Morro do Boi. Para tanto, propôs-se a ampliação da série histórica do plano de monitoramento envolvendo sensores para a determinação tanto de parâmetros geotécnicos como solicitações no sistema de estabilização, em curso desde 2012.

Foi possível verificar que os níveis de poropressão não sofreram grandes alterações mesmo na ocorrência de episódios pluviométricos de maior intensidade, fato

que vem sendo atribuído ao intenso faturamento das rochas subjacentes. Esse comportamento mostra-se condizente também com as variações observadas em medidores de nível d'água. Em contrapartida, foi possível associar as variações de sucção com os eventos pluviométricos. Verifica-se uma redução nos níveis de sucção para precipitações acumuladas em três dias com volumes acima de 100 mm. Com relação às poropressões positivas, concluiu-se que para os níveis mais profundos do monitoramento as mudanças estão usualmente associadas a eventos pluviométricos diários com volumes a partir de 45 mm.

As informações obtidas através das séries históricas dos instrumentos que medem o deslocamento lateral do solo, deformações dos elementos de contenções e cargas nas cabeças dos grampos (inclinômetros, *strain gages* e células de carga) sugerem a ausência de mudanças significativas nos níveis de tensão na região da contenção. Em complemento a isso, foram identificados indícios de correlação inversa entre os níveis de carregamento e temperatura medidos pelas células de carga, refletindo possivelmente processos de contração e retração do maciço como consequência de variações no nível de sucção matricial e consequentemente do volume de água contido no solo.

A introdução de variantes no sistema de contenção do Morro do Boi, buscando-se isolar as parcelas de contribuição dos grampos e da tela metálica, confirmaram as tendências observadas nos modelos tensão-deformação ao longo da Fase 1 do Projeto 3, corroborando-se, portanto, a hipótese de que os grampos constituem o principal elemento estabilizador do sistema.

Análises envolvendo os efeitos que procedimentos de roçada distintos pudessem trazer ao sistema solo-contenção foram realizadas, não sendo identificadas evidências de mudanças no comportamento de parâmetros como poropressão, sucção ou deslocamentos na tela metálica com a preservação de uma condição "rasa" na vegetação, ao menos no período estudado.

Os fatores de segurança das encostas foram reavaliados com base nas informações geradas na pesquisa. A influência da poropressão positiva e negativa foi analisada a partir da delimitação de cenários definidos com base na série histórica de monitoramento. Os resultados obtidos permitiram concluir que a estabilização conferida pela inclusão de ancoragens passivas em conjunto com a viga de coroamento com fundação composta por estacas raiz, posicionada a montante da área estabilizada, representam um aumento no fator de segurança da encosta de aproximadamente 32%. Análises realizadas a partir do perfil estabilizado para diferentes cenários de poropressão resultaram em níveis de suscetibilidade similares.

Em complemento a isso, outras avaliações envolvendo diferentes cenários de sucção e poropressão buscando interpretar o nível de suscetibilidade da encosta natural (não estabilizada) foram realizadas, sendo obtidos fatores de segurança muito próximos e, em muitos casos, iguais para diferentes cenários de poropressão.

Com base nesse contexto, destaca-se que o significativo aumento do fator de segurança obtido pela inclusão do sistema de estabilização no km 140+700 m, confere pouco interesse à definição de critérios de alerta com base na instrumentação para esse local específico. Em contrapartida, o conhecimento gerado com o desenvolvimento da pesquisa permitiu a delimitação de limiares pluviométricos preliminares que podem ser utilizados como ferramenta de gerenciamento de riscos/critério de alerta para as áreas naturais (sem intervenções de engenharia) presentes ao longo do trecho em que a pista Sul da BR-101 cruza o maciço do Morro do Boi (km 136 a 149).

Por fim, deve-se observar que as leituras obtidas até o momento representam um período restrito de dados. A possibilidade da ampliação da série histórica de monitoramento permitirá o aperfeiçoamento contínuo de ferramentas geradas, aprofundando-se o entendimento das condicionantes ambientais, geotécnicas e estruturais dos maciços em estudo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACEVEDO, A. M. G. **Estudo de séries de leituras obtidas através do monitoramento da instrumentação geotécnica implantada em uma encosta litorânea.** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Construção Civil da Universidade Federal do Paraná, 2013.

ALS, 2015. **Relatório final de pesquisa.** Recursos para Desenvolvimento Tecnológico - RDT. Projeto 4: Riscos geológico-geotécnicos em taludes rodoviários: desenvolvimento de uma metodologia de mapeamento e gerenciamento integrado de informações para a BR-376, trecho da Serra do Mar (PR-SC). 2015.

ALS, 2015b. **Relatório final de pesquisa.** Recursos para Desenvolvimento Tecnológico - RDT. Projeto 3: Avaliações de estabilidade e do desempenho de sistemas de proteção de taludes rodoviários em uma encosta litorânea. 2015.

ANA - Agência Nacional das Águas. **Manual de Construção da Base Hidrográfica Ottocodificada da ANA.** Brasília, 2007.

ANDRIOTTI, J. L. S. **Fundamentos de Estatística e Geoestatística.** UNISINOS. RS. 2005.

BUZZI, M. F. **Avaliação das correlações de séries temporais de leituras de instrumentos de monitoração geotécnico-estrutural e variáveis ambientais em barragens estudo de caso de Itaipu.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia. Curitiba. 2007.

BUZZI, M. F. **Uma nova proposta para o treinamento não supervisionado em redes neurais de base radial para previsão de séries temporais.** Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia. Curitiba. 2012.

CARVALHO, J. V. **Modelagem temporal das medidas de vazão de drenos na Barragem de Funil (RJ) utilizando redes neurais e métodos estatísticos.** Tese (Doutorado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Rio de Janeiro. 2005.

D'ORSI, R. N.. **Correlação entre Pluviometria e Escorregamentos no Trecho da Serra dos Órgãos da Rodovia Federal BR-116 RJ (Estrada Rio-Teresópolis).** Tese (Doutorado). UFRJ/ COPPE/ Programa de Engenharia Civil. Rio de Janeiro, 2011.

GALVÃO, WOUGRAN S.; MENESES, PAULO R.; **Avaliação dos sistemas de classificação e codificação das bacias hidrográficas brasileiras para fins de planejamento de redes hidrométricas.** *In:* Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, 2005.

GUIDICINI, G.; IWASA, O.Y. **Ensaio de Correlação entre Pluviometria e Deslizamentos em Meio Tropical úmido.** *In:* Simpósio Landslides and other Mass Movement da IAEG, Praga, 1977.

GUTIÉRREZ, J. L. C. **Monitoramento da Instrumentação da Barragem de Corumbá-I por Redes Neurais e Modelos de Box & Jenkins.** Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Rio de Janeiro. 2003.

INDE- Instituto Nacional de Dados Espaciais. **Área de contribuição das bacias hidrográficas.** Disponível em: < <http://www.visualizador.inde.gov.br/>> Acesso em: 9 de Novembro de 2016.

KAGODA, P. A.; NDIRITU, J.; NTULI, C.; MWAKA, B. **Application of radial basis function neural networks to short-term streamflow forecasting.** Physics and Chemistry of the Earth. 35 (571-581). 2010.

KANE, W. F.; BECK, T. J. **Instrumentation Practice for Slope Monitoring. Engineering Geology Practice in Northern California.** Association of Engineering Geologists Sacramento and San Francisco Sections. 2000.

KANJI, M. A.; CRUZ, P. T.; MASSAD, F.; ARAUJO FILHO, H. A. **Basic and Common Characteristics of Debris Flows**. In: Pan Am. Symposium e COBRAE, 2nd, 223-231, Rio de Janeiro, Brazil, 1997.

KORMANN, A. C. M.; PRETTO, J. H. F.; SESTREM, L. P.; CAMPOS, A. L.. **Avaliações de estabilidade e do desempenho de sistemas de proteção de taludes rodoviários em uma encosta litorânea**. In: IX Workshop Desenvolvimento Tecnológico nas Concessões de Rodovias: Soluções Técnicas e Aplicadas, 2014, Brasília. Anais do IX Workshop Desenvolvimento Tecnológico nas Concessões de Rodovias: 'Soluções Técnicas e Aplicadas. v. Único. p. 12-21, 2014.

KORMANN, A. C. M.; SESTREM, L. P.; PRETTO, J. H. F.. **Instrumentação de encostas: estudos de caso e técnicas de análise de séries históricas**. In: 6ª Conferência Brasileira de Encostas - COBRAE, 2013, Angra dos Reis. Anais da 6ª Conferência Brasileira de Encostas - COBRAE. p. 25-40, , 2013.

Pfafstetter, O. **Classificação de Bacias Hidrográficas - Metodologia de Codificação**. Departamento Nacional de Obras de Saneamento (DNOS), Rio de Janeiro, 1989.

PRETTO, J. H. F.; SESTREM, L. P.; KORMANN, A. C. M.; MARINHO, F. A. M.. **Caracterização das Camadas Não Saturadas de Uma Encosta Litorânea: Determinação da Curva de Retenção de Água**. In: 6ª Conferência Brasileira de Encostas - COBRAE, 2013, Angra dos Reis. Anais da 6ª Conferência Brasileira de Encostas, 2013. v. Único. p. 242-248.

SESTREM, L. P. **Concepção e implantação de um plano de instrumentação para avaliação das condicionantes geotécnicas de uma encosta litorânea**. Dissertação de mestrado. PPGECC. UFPR. 2012.

SESTREM, L. P.; KORMANN, A. C. M.. **Implantação de um sistema de monitoramento automatizado para monitoramento de uma encosta litorânea rodoviária**. In: 8º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões, 2013, Santos. Anais do 8º Congresso Brasileiro de Rodovias e Concessões, 2013.